



Informática en la Salud

Informática na Saúde

Edição / Edición

Nº 13, 06/2014

Tiragem / Tirage: 1000

Preço por número / Precio por número: 12,5€

Subscrição anual / Suscripción anual: 20€ (2 números)

ISSN: 1646-9895

Depósito legal:

Indexação / Indexación

Academic Journals Database, CiteFactor, Compendex, CrossRef, Dialnet, DOAJ, DOI, EBSCO, GALE, IndexCopernicus, Index of Information Systems Journals, ISI Web of Science, Latindex, ProQuest, SciELO, SCOPUS e Ulrich's.

Propriedade e Publicação / Propriedad y Publicación

AISTI – Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação

Rua de Lagares 523, 4620-646 Silvares, Portugal

E-mail: risti@aisti.eu

Web: <http://www.aisti.eu>

Parceiro / Socio

Academy Publisher: <http://www.academpublisher.com>

Ficha Técnica

Diretor

Álvaro Rocha, Universidade de Coimbra

Coordenadores da Edição / Coordinadores de la Edición

António Pereira, Instituto Politécnico de Leiria

Álvaro Rocha, Universidade de Coimbra

Conselho Editorial / Consejo Editorial

Carlos Ferrás Sexto, Universidad de Santiago de Compostela

Gonçalo Paiva Dias, Universidade de Aveiro

Jose Antonio Calvo-Manzano Villalón, Universidad Politécnica de Madrid

Luís Borges Gouveia, Universidade Fernando Pessoa

Luís Paulo Reis, Universidade do Minho

Manuel Pérez Cota, Universidad de Vigo

Maria Manuela Cruz-Cunha, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave

Ramiro Gonçalves, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Secretariado Editorial

Avelino Victor, Instituto Superior da Maia e Instituto de Informática do Porto

Paulo Teixeira, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave

Conselho Científico / Consejo Científico

Adolfo Lozano-Tello, Universidad de Extremadura, ES

Alberto Fernández, Universidad Rey Juan Carlos, ES

Alberto Bugarín, Universidad de Santiago de Compostela, ES

Alejandro Medina, Universidad Politécnica de Chiapas, MX

Alejandro Rodríguez González, Universidad Politécnica de Madrid, ES

Aldemar Santos, Universidade Federal de Pernambuco, BR

Alejandro Peña, Escuela de Ingeniería de Antioquia, CO

Alma María Gómez-Rodríguez, Universidad de Vigo, ES

Álvaro Figueira, FC, Universidade do Porto, PT

Ana Cristina Ramada Paiva, FEUP, Universidade do Porto, PT
Ana Maria Correia, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa, PT
Ana Paula Afonso, Instituto Politécnico do Porto, PT
Angelica Caro, Universidad del Bío-Bío, CL
Antoni Lluís Mesquida Calafat, Universitat de les Illes Balears, ES
Antonia Mas Pichaco, Universitat de les Illes Balears, ES
António Coelho, FEUP, Universidade do Porto, PT
António Godinho, ISLA-Gaia, PT
António Pereira, Instituto Politécnico de Leiria, PT
António Teixeira, Universidade de Aveiro, PT
Armando Mendes, Universidade dos Açores, PT
Arnaldo Martins, Universidade de Aveiro, PT
Arturo J. Méndez, Universidad de Vigo, ES
Baltasar García Pérez-Schofield, Universidad de Vigo, ES
Benjamim Fonseca, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT
Bráulio Alturas, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, PT
Brigida Mónica Faria, ESTSP, Instituto Politécnico do Porto, PT
Carlos Costa, Universidade de Aveiro, PT
Carlos Rabadão, Instituto Politécnico de Leiria, PT
Carlos Carreto, Instituto Politécnico da Guarda, PT
Carlos Vaz de Carvalho, Instituto Politécnico do Porto, PT
Carmen Galvez, Universidad de Granada, ES
Ciro Martins, Universidade de Aveiro, PT
Cristina Alcaraz, Universidad de Málaga, ES
Daniel Castro Silva, Universidade de Coimbra, PT
Daniel Polónia, Universidade de Aveiro, PT
Daniel Riesco, Universidad Nacional de San Luis, AR
David Fonseca, Universitat Ramon Llull, ES
David Ramos Valcarcel, Universidad de Vigo, ES
Dora Simões, Universidade de Aveiro, PT
Eduardo Luís Cardoso, Universidade Católica Portuguesa - Porto, PT
Enric Mor, Universitat Oberta de Catalunya, ES

Eusébio Ferreira da Costa, Escola Superior de Tecnologias de Fafe, PT
Feliz Gouveia, Universidade Fernando Pessoa, PT
Fernando Bandeira, Universidade Fernando Pessoa, PT
Fernando Diaz, Universidad de Valladolid, ES
Fernando Moreira, Universidade Portucalense, PT
Francisco Restivo, Universidade Católica Portuguesa, PT
Gerardo Gonzalez Filgueira, Universidad da Coruña, ES
Germano Montejano, Universidad Nacional de San Luis, AR
Guilhermina Lobato Miranda, Universidade de Lisboa, PT
Hélia Guerra, Universidade dos Açores, PT
Henrique Gil, Instituto Politécnico de Castelo Branco, PT
Henrique Santos, Universidade do Minho, PT
Hugo Paredes, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT
Isidro Calvo, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), ES
Ismael Etxeberria-Agiriano, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), ES
Ivan Garcia, Universidad Tecnológica de la Mixteca, MX
Javier Garcia Tobio, CESGA-Centro de Supercomputacion de Galicia, ES
Jezreel Mejia, Centro de Investigación en Matemática (CIMAT), MX
João Pascual Faria, FEUP, Universidade do Porto, PT
João Paulo Costa, Universidade de Coimbra, PT
João Sarmento, Universidade do Minho, PT
João Tavares, FEUP, Universidade do Porto, PT
Joaquim José Gonçalves, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave, PT
Joaquim Reis, ISCTE - Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, PT
Jörg Thomaschewski, University of Applied Sciences OOW - Emden, DE
Jose Alfonso Aguilar, Universidad Autonoma de Sinaloa, MX
José Braga de Vasconcelos, Universidade Atlântica, PT
José Felipe Cocón Juárez, Universidad Autónoma del Carmen, MX
Jose J. Pazos-Arias, Universidad de Vigo, ES
José Luís Silva, Universidade da Madeira, PT
José Paulo Lousado, Instituto Politécnico de Viseu, PT
José Luis Pestrana Brincones, Universidad de Málaga

José Luís Reis, ISMAI - Instituto Superior da Maia, PT
Jose M Molina, Universidad Carlos III de Madrid, ES
Jose Maria de Fuentes, Universidad Carlos III de Madrid, ES
Jose María Alvarez Rodríguez, South East European Research Center, GR
Jose R. R. Viqueira, Universidade de Santiago de Compostela, ES
José Silvestre Silva, Academia Militar, PT
Josep M. Marco-Simó, Universitat Oberta de Catalunya, ES
Juan Carlos González Moreno, Universidad de Vigo, ES
Juan M. Santos Gago, Universidad de Vigo, ES
Juan Manuel Fernández-Luna, Universidad de Granada, ES
Juan-Manuel Lopez-Zafra, Universidad Complutense de Madrid, ES
Leonardo Bermon, Universidad Nacional de Colombia, CO
Leonel Morgado, Universidade Aberta, PT
Lilia Muñoz, Universidad Tecnológica de Panamá, PA
Luis Alvarez Sabucedo, Universidad de Vigo, ES
Luis de Campos, Universidad de Granada, ES
Luis Enrique, Sicaman Nuevas Tecnologías S.L., ES
Luis Fernandez-Sanz, Universidad de Alcalá, ES
Luís Ferreira, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave, PT
Luisa María Romero-Moreno, Universidad de Sevilla, ES
Magdalena Arcilla Cobián, Universidade Nacional de Educación a Distancia, ES
Manuel Jose Fernandez Iglesias, Universidad de Vigo, ES
Marco Painho, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa, PT
María J. Lado, Universidad de Vigo, ES
Maria João Castro, Instituto Politécnico do Porto, PT
Maribel Yasmina Santos, Universidade do Minho, PT
Maristela Holanda, Universidade de Brasília, BR
Martín Llamas Nistal, Universidad de Vigo, ES
Mercedes Ruiz, Universidad de Cádiz, ES
Miguel A. Brito, Universidade do Minho, PT
Mirna Ariadna Muñoz Mata, Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), MX
Nelson Rocha, Universidade de Aveiro, PT

Nuno Lau, Universidade de Aveiro, PT
Nuno Ribeiro, Universidade Fernando Pessoa, PT
Orlando Belo, Universidade do Minho, PT
Oscar Mealha, Universidade de Aveiro, PT
Patricia Alejandra Behar, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, BR
Paulo Martins, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, PT
Paulo Pinto, FCT, Universidade Nova de Lisboa, PT
Pedro Abreu, Universidade de Coimbra, PT
Pedro Miguel Moreira, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, PT
Pedro Nogueira Ramos, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, PT
Pedro Pimenta, Universidade do Minho, PT
Pedro Sánchez Palma, Universidad Politécnica de Cartagena, ES
Pedro Sanz Angulo, Universidad de Valladolid, ES
Pilar Mareca Lopez, Universidad Politécnica de Madrid, ES
Raul Lauerano, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, PT
Renata Spolon Lobato, UNESP - Universidade Estadual Paulista, BR
Reinaldo Bianchi, Centro Universitário da FEI, BR
Rodolfo Miranda Barros, Universidade Estadual de Londrina, BR
Ruben Gavier Medina Daza, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, CO
Rubén González Crespo, Universidad Pontificia de Salamanca, ES
Rui Cruz, IST, Universidade de Lisboa, PT
Rui José, Universidade do Minho, PT
Sergio Gálvez Rojas, Universidad de Málaga, ES
Solange N Alves de Souza, Universidade de São Paulo, BR
Tomás San Feliu Gilabert, Universidad Politécnica de Madrid, ES
Victor Hugo Medina Garcia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, CO
Vitor Santos, ISEGI, Universidade Nova de Lisboa, PT
Xose A. Vila, Universidad de Vigo, ES

Editorial

eSaúde - Sistemas e Tecnologias de Informação e Comunicação aplicados à Saúde

eHealth - Information Systems and Communication Technologies applied to Health

António Pereira ^{1, 2}, Álvaro Rocha ^{3, 4}

apereira@ipleiria.pt, amrrocha@gmail.com

¹ Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Centro de Investigação em Informática e Comunicações, Instituto Politécnico de Leiria, Campus 2, Morro do Lena - Alto do Vieiro, 2411-901 Leiria, Portugal

² Unidade de Tecnologias de Informação e Comunicação, INOV INESC Inovação, Delegação na ESTG Leiria, Campus 2, Morro do Lena - Alto do Vieiro, 2411-901 Leiria, Portugal

³ Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Informática, Pólo II - Pinhal de Marrocos, 3030-290 Coimbra, Portugal

⁴ LIACC – Laboratório de Inteligência Artificial e Ciência de Computadores, Rua David Correia da Silva, 407 – 5 T, 4435-200 Rio Tinto, Portugal

DOI: 10.4304/risti.13.vii-ix

Introdução

A eSaúde é uma área abrangente e multidisciplinar que se refere aos serviços de saúde que utilizam sistemas e tecnologias de informação e comunicação para melhorar o desempenho das organizações, instituições e empresas nesta área, bem como os cuidados de saúde prestados aos utentes.

O presente número da RISTI é subordinado à temática da eSaúde, pretendendo integrar contribuições originais e relevantes nas suas dimensões tecnológica, organizacional e social.

Os tópicos recomendados foram: Arquiteturas e sistemas de apoio à decisão na saúde; Sistemas inteligentes na saúde; Sistemas e tecnologias de informação para a saúde; Ontologias; Integração e interoperabilidade de sistemas; mSaúde: sistemas, tecnologias e aplicações móveis na saúde; Segurança e confidencialidade na saúde; Normas de informação na saúde; Plataformas de serviços; Sistemas de telemedicina; Reabilitação assistida por computador; eTerapia; Acessibilidade web na saúde; Registo clínico e eletrónico; Cuidados de saúde personalizados; Auditoria e qualidade do serviço prestado; Soluções para melhorar a qualidade de vida dos utentes; Soluções que contribuam para um envelhecimento ativo e saudável. Contudo, foram aceites outros tópicos relacionados com o tema.

Foram submetidos 47 trabalhos científicos, provenientes de 10 países e de 2 continentes, que passaram por um processo rigoroso de avaliação. Cada artigo foi avaliado por, pelo menos, três membros do Conselho Científico. Das 47 submissões foram aceites 6 artigos, resultando numa taxa de aceitação final de 13%. A qualidade evidenciada pelos seis artigos publicados é a face visível da exigência desse processo.

Estrutura

No primeiro artigo, “Desarrollo de un Sistema de Decisión basado en Lógica Borrosa para el uso de Bombas de Insulina”, é proposto um sistema que emula a tomada de decisão de um especialista na administração de insulina por bomba. O estimador desenvolvido tem em consideração as características específicas de cada paciente, o ritmo circadiano, a atividade planeada e a glicemia pré-prandial, e é capaz de tomar decisões corretas em diversas situações: níveis iniciais de glicemia, ingestões variadas em tipo e quantidade, e várias previsões de atividade. O sistema calcula a quantidade de insulina a ser fornecida a uma dada situação, a quantidade a ser administrada inicialmente, a quantidade a ser administrada de forma contínua e o tempo durante o qual esta administração deverá ser efectuada. O trabalho apresentado poderá, a curto prazo, apoiar pacientes diabéticos no uso de bombas de insulina.

O segundo artigo, “Sistema de Apoio à Decisão para o Transporte Não Urgente de Doentes em Veículo Partilhado”, apresenta métodos heurísticos para a formação de agrupamentos de doentes a serem transportados na mesma viatura de modo a otimizar e a racionalizar o processo de transporte não urgente de doentes. São apresentados resultados computacionais que, segundo os autores, validam os algoritmos desenvolvidos. Os algoritmos podem ser facilmente integrados num sistema de apoio à decisão.

No terceiro artigo, “Seguridad y Privacidad en Carpetas Personales de Salud para Android e iOS”, foram identificadas questões de segurança e privacidade em soluções mPHR (mobile Personal Health Records). Foram identificados e avaliados 24 mPHRs para Android e iOS. Os autores concluem que as aplicações mPHR, na sua fase de desenvolvimento, devem melhorar significativamente as suas políticas de privacidade.

O quarto artigo, “Metodologia para a deteção de artefactos luminosos em imagens de retinografia com aplicação em rastreio oftalmológico”, propõe-se uma metodologia que avalia de forma automática a qualidade das imagens captadas num rastreio oftalmológico para posterior deteção de artefactos. Em cenários de rastreio, as deficiências numa imagem podem levar a que um número significativo de imagens tenha de ser repetido, implicando custos e ineficiência do sistema. A utilização dos algoritmos apresentados poderá, no futuro próximo, aumentar a eficiência dos sistemas de rastreio e diagnóstico de doenças oculares contribuindo, deste modo, para a melhoria das condições de vida da população em geral e em especial da sua faixa sénior.

No quinto artigo, “Modelo Vectorial para la Inferencia del Estado Cognitivo de Pacientes en Estados Derivados del Coma”, é analisado um modelo computacional baseado nos princípios de máquinas de suporte vetorial (MSV), para inferir o estado cognitivo dos pacientes, em estado de coma, através de um equipamento de EEG (ElectroEncefaloGrafia) comercial. Os resultados mostraram que o modelo classifica com sucesso uma tarefa cognitiva, em pelo menos quatro dos cinco testes em pacientes, o que resulta na obtenção de um sistema de baixo custo para a análise de consciência, com possibilidade de comunicação com alguns pacientes, em estados derivados do coma, mediante protocolos médicos definidos. Assim, este sistema é apresentado como uma grande contribuição para as clínicas e hospitais e como uma ferramenta de diagnóstico potencial para estes pacientes.

Finalmente, no artigo “Previsão de tempos de internamento num hospital português: aplicação da metodologia CRISP-DM” é alcançado um modelo de apoio à decisão que garante erros médios de previsão de tempos de internamento relativamente baixos. Este processo de descoberta de conhecimento foi guiado pela metodologia CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) tendo por base uma grande amostra de episódios de internamentos, relativos a um hospital português. De acordo com os autores, o modelo gerado pode vir a ser integrado num sistema de apoio à decisão e constituir-se como um elemento de precioso auxílio à área de negócio hospitalar, permitindo a otimização, gestão e rentabilização dos serviços de internamento.

Agradecimento

Concluimos, expressando o nosso agradecimento a todos os autores que submeteram o seu trabalho científico de modo a ser avaliado para eventual publicação nesta décima terceira edição regular da RISTI; aos membros do Conselho Científico, pela criteriosa avaliação que fizeram dos artigos submetidos; e à AISTI, proprietária e promotora da RISTI, assim como à Academy Publisher, editora parceira.

Esperamos, pois, que esta edição da RISTI contribua efetivamente para uma melhoria da eSaúde nas suas três dimensões principais: tecnológica, organizacional e social.

Índice / Index

EDITORIAL

eSaúde - Sistemas e Tecnologias de Informação e Comunicação aplicados à Saúde .. vii
eHealth - Information Systems and Communication Technologies applied to Health

ARTIGOS / ARTÍCULOS / ARTICLES

Desarrollo de un Sistema de Decisión basado en Lógica Borrosa para el uso de Bombas de Insulina 1
Development of a Decision System based on Fuzzy Logic for the use of Insulin Pumps

Sistema de Apoio à Decisão para o Transporte Não Urgente de Doentes em Veículo Partilhado 17
Decision Support System for Not Urgent Transportation of Patients in Shared Vehicle

Seguridad y Privacidad en Carpetas Personales de Salud para Android e iOS 35
Privacy and Security in Mobile Personal Health Records for Android and iOS

Metodologia para a deteção de artefactos luminosos em imagens de retinografia com aplicação em rastreio oftalmológico 51
Methodology for image artifacts detection in retinal images with application in Ophthalmology Screening

Modelo Vectorial para la Inferencia del Estado Cognitivo de Pacientes en Estados Derivados del Coma 65
Vector Model for the Inference of the Cognitive State in Derived State Coma Patients

Previsão de tempos de internamento num hospital português: aplicação da metodologia CRISP-DM 83
Predicting inpatient length of stay in a Portuguese hospital using the CRISP-DM methodology

Desarrollo de un Sistema de Decisión basado en Lógica Borrosa para el uso de Bombas de Insulina

José B. Galván¹, Leticia Recarte¹, María José Pérez-Ilzarbe¹

galvan@unavarra.es, leticiarecarte@hotmail.com, mjperez@unavarra.es

¹.Universidad Pública de Navarra, Campus de Arrosadía s/n, 31006 Pamplona, Spain

DOI: 10.4304/risti.13.01-15

Resumen: Basándonos en el conocimiento de un usuario experto en la utilización de bombas de insulina, hemos desarrollado un *software* de apoyo para usuarios noveles de dicha tecnología. Nuestro sistema de decisión tiene en cuenta problemas tales como la influencia de las características específicas de cada usuario, el ritmo circadiano, la actividad prevista y la glucemia preprandial. La base de nuestro sistema es un controlador borroso para el que se ha desarrollado un constructor semiautomático de reglas. El sistema ha sido probado con éxito por dos usuarios muy diferentes entre sí, lo que prueba que las ideas implementadas son válidas y suponen una interesante línea de desarrollo de sistemas de ayuda a pacientes diabéticos.

Palabras-clave: Sistemas de decisión; Control Borroso; Bombas de Insulina

Development of a Decision System based on Fuzzy Logic for the use of Insulin Pumps

Abstract: Basing on the knowledge of an expert user of insulin pumps, we have developed a supportive software for new users of this technology. Our decision system takes into account issues such as the specific characteristic of each user, the circadian rhythm, the planned activity and the preprandial glycemia. We have developed a semiautomatic rule constructor for the base of our system, which is a fuzzy controller. The system has been successfully tested by two different users, proving that the implemented ideas are valid and represent an interesting line of development of helping systems for diabetic patients.

Keywords: Decision system; Fuzzy controller; Insulin Pumps

1. Introducción

La diabetes mellitus tipo 1 (DM1) es una enfermedad autoinmune que produce la destrucción de las células β del páncreas lo que provoca un drástico descenso de la insulina disponible hasta casi su completa desaparición.

La insulina es una hormona responsable del metabolismo de hidratos de carbono, su déficit provoca hiperglucemia: altos niveles de glucosa (azúcar) en sangre. La glucemia en sangre, que es la cantidad de glucosa que contiene, se mide en miligramos por decilitro (mg/dl). Se considera un valor normal, normoglucemia, a valores preprandiales de 100 mg/dl. Está establecido que hiperglucemias por encima de 180 mg/dl son muy peligrosas a largo plazo y pueden dar lugar a diversas patologías (nefropatías, neuropatías, accidentes cerebrovasculares, etc.), siendo la primera causa de amputaciones, ceguera o diálisis. Por otra parte, un exceso de insulina puede producir hipoglucemias, que si no se corrigen pueden derivar en coma glucémico (Cryer, 2002).

En personas con el páncreas sano los propios controles corporales se encargan de mantener los niveles adecuados de la hormona. En personas diabéticas es un problema que, como veremos, todavía no está adecuadamente solucionado. El único tratamiento para el déficit de insulina provocado por la DM1 es la administración de insulina exógena. Esta administración se suele hacer por dos vías: inyección o bomba de insulina (Jeitler, 2008). Las bombas de insulina, desde que se ha logrado la reducción de su tamaño, son la solución que mejores resultados ofrece y más se acerca a la fisiología normal de una persona sana (Zisser, 2008). En este caso el suministro de hormona es continuo a través de un catéter subcutáneo. Gracias a esta facilidad la administración de la insulina se hace antes y durante la ingesta y digestión pudiendo tomar decisiones de control de acuerdo con las medidas de glucosa en sangre y del índice glucémico de los alimentos ingeridos, como por ejemplo alargar, a demanda, la infusión de la insulina. Esta posibilidad es inviable con la terapia de múltiples dosis (inyección).

La solución ideal al problema de la DM1 sería un control autónomo de la bomba de insulina. Ésta solución se conoce como páncreas artificial y es objeto de investigación de diversos grupos (Steil, 2006), (Bondia, 2010). Por desgracia, quedan muchos problemas que solucionar antes de tener un páncreas artificial eficiente: retraso entre la administración subcutánea de la insulina y su llegada a la sangre (diferente para cada persona e incluso en diferentes momentos para la misma persona), control de obstrucción del catéter, control de pérdidas en el catéter, medición precisa de la glucosa en sangre, etc. Todo esto lleva a que el control automático de la bomba no sea todavía lo suficientemente preciso como para permitir su implantación generalizada.

Por lo tanto, en estos momentos, el uso adecuado de las bombas de insulina pasa por el control del propio usuario. Se establece un suministro continuo (basal) de una pequeña cantidad de hormona a la que se añade un suministro mayor en los momentos de ingesta y postprandiales. La cantidad de unidades de insulina (bolus) que se deben suministrar está relacionada con la cantidad de raciones de carbohidratos que se ingieren y con otros factores de los que se hablará en la sección 2. La forma más eficiente de la administración de los bolus consiste en dividirlos: una parte en un único suministro (bolus N) y el resto de forma continua (bolus C) a lo largo de un tiempo que se puede alargar desde menos de 60 a incluso 300 minutos dependiendo de las características del usuario y del tipo de comida.

Las variables a tener en cuenta son tantas y de tan diferente tipo que se necesita ser un usuario experto para poder tomar las decisiones adecuadas de la cantidad de bolus que se deben administrar, su reparto en bolus N y bolus C y el tiempo de suministro de

estos últimos. Errores en estas decisiones pueden producir hipo o hiperglucemias. Esto lleva a que muchos usuarios desistan del uso de bolus *C* suministrándose únicamente dosis instantáneas y procediendo a correcciones posteriores según evolucione el nivel de glucemia. Esta estrategia no es muy eficiente debido a la dificultad inherente al control de sistemas complejos, sobre todo cuando hay que tener en cuenta retrasos como los que se dan entre la administración de la insulina y el momento en que ésta alcance su máxima eficacia en la metabolización de carbohidratos.

El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de *software* de apoyo para usuarios de bombas de insulina sin experiencia, como pueden ser padres de niños, jóvenes o personas que se enfrentan por primera vez con los problemas de control de la bomba de insulina. Como núcleo de nuestro sistema de decisión hemos diseñado y programado un sistema *fuzzy* (Jang, 1997) que decide el reparto entre bolus *N* y bolus *C* así como el tiempo de administración de éstos. La lógica borrosa ha sido utilizada en diversos trabajos para el control de infusión de insulina (Campos-Delgado, 2006), (Kardar, 2008), (Jayaraj, 2009), (Anantha, 2013). En estos trabajos se implementan diferentes sistemas borrosos y se analiza su comportamiento en simulación, utilizando para ello modelos matemáticos que emulan el efecto de la infusión de insulina en la evolución de glucosa en sangre del paciente. La propuesta que presentamos en este artículo está enfocada al aprovechamiento del conocimiento en el manejo de bombas de un usuario experto (de ahora en adelante UE1) para diseñar un controlador borroso sin necesidad de disponer de un modelo matemático de la evolución de glucosa en sangre del paciente. Se ha desarrollado un sistema semiautomático para la creación del sistema borroso a partir una información sencilla aportada por el usuario. El método se ha desarrollado para el usuario UE1 y se ha validado con otro usuario UE2, de características muy diferentes al primero.

El sistema de decisión completo se describe en la sección 3. Este sistema es único por usuario, incorpora características del mismo y depende de su fisiología. Hay que destacar que estamos implementando un control en lazo abierto, como el que realizan en este momento la inmensa mayoría de usuarios de bomba de insulina. Por lo tanto, no hay tratamiento automático de perturbaciones.

A la vista de los resultados obtenidos podemos afirmar que las herramientas desarrolladas en este trabajo y sus posibles extensiones pueden ser de gran utilidad para muchos diabéticos DM1. El experto con el que hemos trabajado lo está utilizando con éxito como detector de fallos de sus decisiones. Nuestro controlador construido a partir de información mínima funciona correctamente como un usuario experto, lo que hace posible que un paciente con poca experiencia pueda utilizar apropiadamente la bomba de insulina.

2. Descripción del sistema de decisión completo

Como se ha dicho, las dificultades del uso de la bomba de insulina para el control del nivel de glucosa en sangre, sobre todo durante la ingesta y digestión de alimentos, se deben a los muchos factores que hay que tener en cuenta y que afectan de diferente forma a distintas personas o incluso a la misma persona en diferentes horas del día. El esquema del estimador que proponemos para tratar de dar solución a dichas

dificultades se puede ver en Fig. 1. En lo que sigue, vamos a ir describiendo los bloques que lo forman y explicando su necesidad.

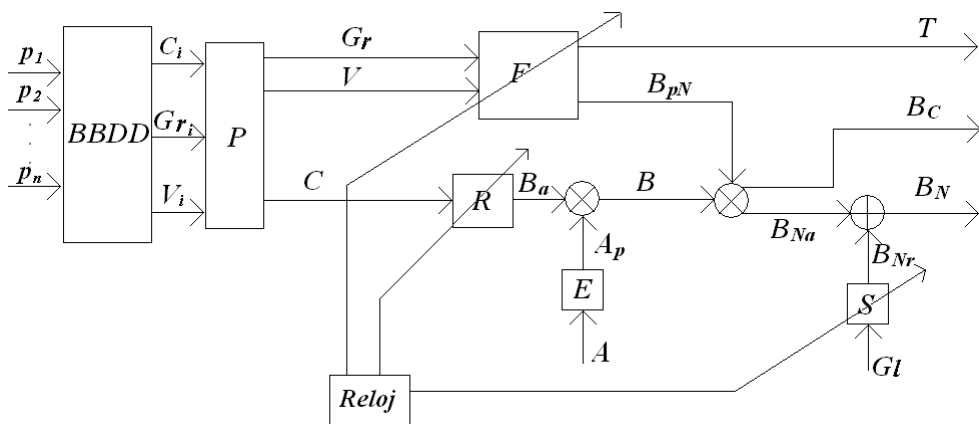


Figura 1 – Esquema del sistema de decisión

La parte numérica del sistema de decisión tiene como entradas los valores de tres parámetros: la cantidad de raciones de carbohidratos (desde ahora C) que se van ingerir, una estimación del nivel de grasas (de ahora en adelante Gr) y lo que vamos a llamar “velocidad” de los carbohidratos (de ahora en adelante V), parámetro que nos dice el tipo de carbohidratos presentes en el menú según sea su digestión más o menos lenta.

Obtener estos tres valores a partir de los platos de comida no es una tarea trivial: un diabético suele saber estimar C y muchas bombas y programas de libre acceso estiman no sólo C sino también los bolus totales para cierta situación estándar (correspondiente a nuestro parámetro B_a) a partir del menú de la ingesta (Gross, 2003), (Zisser, 2008). Sin embargo es más difícil la estimación de Gr y V . Esta última variable se suele medir con el índice glucémico (IG), que compara la velocidad de absorción de los carbohidratos con respecto a uno estándar. Aunque hay muchas tablas con los IG de alimentos (Foster-Powell, 2002), (Murillo, 2012), (UNED, 2014), estás no son exhaustivas e incluso a veces presentan contradicciones. A esto hay que añadir que los alimentos cocinados pueden modificar su IG (Murillo, 2012). En el caso de las grasas presentes en un alimento la estimación es todavía más complicada, ya que se cuenta con menos información.

Para solventar estas dificultades, usuarios expertos nos han ayudado con la elaboración de una extensa base de datos, representada en el **Bloque BBDD**. En vez de usar directamente los IG , hemos preferido (siguiendo el consejo de los expertos con los que hemos discutido estos problemas) reescalarlos de forma que la velocidad V de digestión de los carbohidratos va de 1 (muy rápido) a 9 (muy lento). En el caso de las grasas se utiliza una escala similar siendo 1 para alimentos sin grasa y 9 para alimentos con mucha grasa. Por ejemplo a la leche desnatada se le asigna $Gr_i=2$ y $V_i=8$ (muy poco grasa pero carbohidratos de digestión lenta); a un plato de huevos fritos y patatas fritas se le asigna $Gr_i=6$ y $V_i=4$.

En la **BBDD** se introducen los platos que se van a consumir y la cantidad p_i en peso de cada uno de ellos ($i=1,...,n$; siendo n el número de platos del menú, incluidas la bebidas) y se obtiene los valores de los valores C_i , Gr_i y V_i de cada plato.

Con estos valores tenemos que realizar algunos cálculos, representados por el **Bloque P**: a) sumar las distintas cantidades de carbohidratos C_i de los platos para obtener la cantidad total C de raciones de carbohidratos que se van a consumir; b) ponderar las Gr_i de los platos en peso; c) ponderar las V_i de los platos en raciones de carbohidratos. De esta forma, la salida del **Bloque P** nos caracteriza la ingesta con tres únicas variables: C , Gr y V :

$$C = \sum_{i=1}^n C_i ; \quad Gr = \frac{\sum_{i=1}^n p_i Gr_i}{\sum_{i=1}^n p_i} ; \quad V = \frac{\sum_{i=1}^n C_i V_i}{C} \quad (1)$$

El **Bloque reloj** nos sirve para solucionar el problema del ritmo circadiano. En él, dividimos el día teniendo en cuenta las tres/cinco comidas principales en tres zonas: desayuno, almuerzo/comida, merienda/cena. Este bloque proporciona los valores en esas franjas de dos parámetros, la ratio insulina/carbohidratos (R) y el factor de sensibilidad a la insulina (S), cuyo significado se explicará más adelante. También será diferente en estos tramos el reparto de los bolus en bolus N (B_N) y bolus C (B_C), y el tiempo de administración de estos últimos (T). Como veremos, estas decisiones se toman a través de un controlador diferente en cada tramo, por lo que el **Bloque reloj** se encargará también de cargar el controlador adecuado a la hora del día.

Los bloques que nos quedan por describir son los que realizan propiamente la estimación de bolus N , bolus C y tiempo de suministro apropiados en una situación dada. Los valores de estos parámetros van a depender de la glucemia (Gl desde ahora) que se tiene en el momento de la ingesta. Por otro lado, ante una comida igual o similar, la cantidad de insulina que se debe suministrar ha de tener en cuenta la actividad tanto física como intelectual prevista en las horas posteriores a la ingesta. Suponiendo normoglucemia, y una actividad prevista baja, la cantidad de unidades de insulina (de ahora en adelante B_a) que se deben suministrar es proporcional a la cantidad de raciones de carbohidratos que se van ingerir. Este factor de proporcionalidad, implementado en el **Bloque R**, se conoce como ratio insulina/carbohidratos (R) y nos da las unidades de insulina necesarias para el metabolismo de una ración de carbohidratos, que es diferente en cada persona y depende del ritmo circadiano. Es por esto que el **Bloque R** está conectado al **Bloque reloj**.

Una vez se han calculado los bolus totales $B_a=R*C$ válidos para normoglucemia y previsión de actividad baja, este valor se debe modificar teniendo en cuenta la actividad prevista (A). Ésta la hemos estimado en una escala de 1 (mínima) a 9 (extrema). Después de discutir con los expertos se llegó a la conclusión de que hacen aproximadamente una reducción lineal en porcentaje de los bolus de tal forma que para actividad 2 no realizan corrección y para actividad 8 reducen el 40%. Es decir, que a partir de actividad 2 aplican una reducción del 6,67% de B_a por cada unidad que aumenta la actividad. El **Bloque E** implementa esta reducción (A_p). Así, para $A=5$ obtendríamos $A_p=(5-2)*6,67=20\%$ y $B=0.8*B_a$.

Con los bolus B ya obtenidos, se debe calcular el reparto en bolus tipo N (B_{Na} , donde el subíndice a nos dice que queda pendiente una última corrección) y bolus tipo C (B_C), y el tiempo (T). Para hacer este ajuste hay que estimar cuánto tiempo va a durar la digestión así como el ritmo de absorción de carbohidratos durante la misma. Este punto se demostró como el más difícil de tratar. Después de amplias discusiones con los usuarios expertos, así como del análisis de los datos que nos iban proporcionando, llegamos a la conclusión de que, en sus decisiones, el porcentaje de B_{Na} sobre B (en adelante B_{pN}) y el valor de T se mostraban independientes de la cantidad total de comida (en particular de carbohidratos), estando relacionados con la naturaleza de la misma, en concreto con los parámetros Gr y V .

Con esto decidimos que el **Bloque F**, núcleo de nuestro sistema de decisión, tuviera como entradas la velocidad y el nivel de grasas de la comida, V y Gr , y como salidas el porcentaje B_{pN} de bolus N y el tiempo T de suministro de los bolus C . Los valores de estas variables, así como la forma en que afecta la naturaleza de los carbohidratos y la ingestión de grasas a dichos valores, varía entre individuos y con el ritmo circadiano. Su decisión se basa en reglas que, como se verá más adelante, tuvimos que deducir a partir de los datos aportados por el experto UE1. Nuestra propuesta pasa por tres estimadores diferentes, uno para cada una de las franjas horarias implementadas en el **Bloque reloj**. Para la franja del desayuno sólo se administran bolus N por lo que $B_{pN}=100\%$ y no tiene sentido hablar de T . Para las franjas almuerzo/comida y merienda/cena se construyen y ajustan dos controladores *fuzzy* diferentes.

Finalmente, recordemos que todo lo descrito hasta ahora supone que el usuario está en normoglucemia. Una glucemia en sangre Gl superior a 100 mg/dl exige que se aumente el número de bolus para ayudar al procesamiento de la glucosa excedente, y una inferior se debe tratar reduciendo la cantidad de insulina para evitar hipoglucemias. Esta corrección (B_{Nr}) se hace sobre B_{Na} para que tenga un efecto rápido en la glucemia. El cálculo para dicha corrección se realiza en el **Bloque S** con el factor de sensibilidad a la insulina (S), que nos dice cuántas unidades (en mg/dl) baja Gl por unidad de insulina. Con ella se obtiene:

$$B_{Nr} = \frac{Gl - 100}{S} \quad B_N = B_{Na} + B_{Nr} \quad (2)$$

Como en el caso de otros parámetros vistos anteriormente, S varía entre individuos y con el ritmo circadiano y nuestro **Bloque reloj** es el encargado de proporcionar el valor de S apropiado.

Con esto queda explicado el esquema de nuestro sistema de decisión. Queda por describir en detalle la estructura, diseño e implementación del controlador borroso representado en el **Bloque F**, lo que haremos en la siguiente sección.

3. Controlador Borroso

Esta parte del trabajo se ha estructurado en tres fases:

1. En primer lugar se ha desarrollado un controlador borroso que emula la toma de decisión del experto UE1. Sus parámetros se han ajustado a mano a partir de datos correspondientes a un gran número de decisiones del experto. El

objetivo era imitar las decisiones tomadas, y que decisiones obtenidas como salida de nuestro sistema en situaciones diferentes a las utilizadas para el diseño obtuvieran el “visto bueno” del experto.

2. Se ha identificado la información mínima necesaria para poder reproducir, a partir de la misma, el controlador borroso diseñado para UE1. Así, se ha desarrollado un sistema semiautomático de creación del sistema borroso a partir solamente de la información suministrada por el experto para unas pocas situaciones representativas. Después, se ha hecho la hipótesis de que el controlador *fuzzy* apropiado para otro usuario tendría que tener las mismas características generales, aunque obviamente parámetros diferentes. Con esto, el método de creación desarrollado sería capaz de construir controladores borrosos correctos para diferentes personas.
3. El procedimiento semiautomático desarrollado en la fase 2 se ha aplicado a la creación del controlador para otro usuario experto, que llamaremos UE2. El objetivo era que las decisiones tomadas por el sistema así construido recibieran el “visto bueno” de este otro experto.

3.1. Desarrollo del controlador borroso para el sujeto UE1

Recordemos que el controlador borroso que vamos a diseñar está representado en el **Bloque F** de la figura 1. Tiene dos entradas, la velocidad de digestión de los hidratos (V) y el nivel de grasas (Gr), y dos salidas, el porcentaje Bp_N de bolus N apropiado para normoglucemia y actividad prevista baja, y el tiempo T durante el que se van a suministrar los bolus C .

El controlador *fuzzy* se ha implementado como un sistema borroso de Sugeno de orden 0 (Sugeno, 1985). Se ha escogido este modelo, con una forma relativamente sencilla, para facilitar su implementación en diferentes lenguajes y plataformas. De momento ha sido programado en el *software* libre *Scilab* y se va a empezar a programar como aplicación para teléfono móvil.

Este tipo de sistema borroso consta de una serie de reglas del tipo: **SI** V es “baja” **Y** Gr es “alta” **ENTONCES** $Bp=Bp_i$ **Y** $T=T_i$, donde los consecuentes son valores numéricos. El método de intersección escogido para la implementación de los **Y** que conectan los antecedentes es el producto, y para el cálculo de la salida se utiliza la suma ponderada. Para los lectores más familiarizados con el modelo de Mamdani (Mamdani, 1975), podemos recordar que el sistema borroso de Sugeno de orden 0 es equivalente a uno de Mamdani que utilice el producto para las conectivas **Y** y para la inferencia, la suma para la agregación, y el centro de gravedad para la desborrosificación (*defuzzification*) (Jang, 1997).

Una vez decidido el tipo de sistema borroso, hay que decidir el número de categorías que se van a utilizar en cada universo de entrada y definir los conjuntos borrosos que representan cada categoría. Para ello nos hemos basado nuevamente en la experiencia de nuestro experto UE1. Éste nos pasó datos de decisiones correctas tomadas en situación de normoglucemia y actividad prevista baja, de manera que correspondían a lo que queríamos estimar con el sistema borroso implementado en el **Bloque F**. Tras la recogida de datos, organización de la información, verificación y corrección con la ayuda de UE1, conseguimos disponer de datos válidos de Bp_N y T para los tramos

horarios de almuerzo/comida y merienda/cena, apropiados para ingestas con valores de V y Gr enteros de 1 a 9.

Lo que pretendíamos, en un primer paso, era emular con reglas borrosas estas relaciones. El primer controlador diseñado tenía 9 conjuntos borrosos triangulares para la rapidez y 9 para la grasa, correspondientes a las categorías “aproximadamente 1”, “aproximadamente 2” etc..., centrados en los valores correspondientes y con semianchura 1. El controlador tenía, por lo tanto, 81 reglas. Como valores de los consecuentes, lógicamente, se pusieron los proporcionados por el experto para las situaciones correspondientes. Comprobamos que el controlador así ajustado, integrado en el esquema de la figura 1, producía decisiones similares a las que toma el experto para menús muy diferentes, en situación de glucemia distinta a normoglucemia y con actividad prevista mayor de 2, lo que nos sirvió para comprobar la validez de nuestro sistema completo de decisión.

Este primer controlador diseñado tenía los mismos consecuentes en varias de sus reglas borrosas, ya que el experto tomaba decisiones iguales para valores diferentes de V y Gr pero cercanos entre sí. Esto sugería que era posible diseñar un sistema borroso más sencillo definiendo menos categorías en cada universo de entrada. Una mayor simplicidad facilitaría la automatización del procedimiento de creación de dicho sistema para otros usuarios. Así que, nos decidimos a diseñar un sistema borroso que, realizando la tarea que nos interesa, fuera lo más sencillo posible.

Para ello tratamos de definir en los universos de entrada el menor número posible de conjuntos borrosos. Además de las zonas de antecedentes cercanos para los que UE1 tomaba la misma decisión, identificamos otras zonas en las que pequeñas variaciones en los valores decididos producían nuevas zonas de consecuentes iguales. Por otro lado, no siempre UE1 tomaba *exactamente* las mismas decisiones en las mismas circunstancias, y sin embargo conseguía un correcto control de glucemia, con lo que realizar pequeños cambios parecía aceptable. Preguntando a dicho experto al respecto nos dio el visto bueno a estos cambios, con lo que finalmente conseguimos unos datos que se podían reproducir con el sistema borroso de 9 reglas que queda definido en las tablas 1 y 2. Las categorías “baja”, “media” y “alta” que corresponden a los antecedentes de las reglas en los dos universos de entrada se representan en la figura 2.

Respecto a los consecuentes de las reglas, para el universo de porcentaje de bolus N se decidió mantener 9 consecuentes, aunque en particular para el usuario UE1 los valores que toman dos de ellos son iguales. Para el universo de tiempo de suministro decidimos, analizando los datos, dejar 6 consecuentes, aunque en particular para UE1 hay cuatro que toman valores iguales dos a dos. Los valores concretos de los consecuentes para UE1 en la franja almuerzo/comida se presentan en las tablas 3 y 4. Con el controlador así diseñado se obtiene el *mapping* entradas-salidas que se representa en la figura 3.

Se comprobó que este controlador borroso de nueve reglas diseñado para la franja horaria de almuerzo/comida proporcionaba resultados tan satisfactorios como el de que 81 reglas. Así pues, decidimos dejar fija la estructura de nuestro controlador como la sencilla de 9 reglas. Con esta estructura, se diseñó y ajustó el controlador borroso para la franja horaria de merienda/cena.

Tabla 1 –Tabla de reglas para el universo de salida Bp_N

% BOLUS N		V		
		Baja	Media	Alta
Gr	Baja	Bp_{N1}	Bp_{N7}	Bp_{N3}
	Media	Bp_{N5}	Bp_{N9}	Bp_{N6}
	Alta	Bp_{N2}	Bp_{N8}	Bp_{N4}

Tabla 2 – Tabla de reglas para el universo de salida T

TIEMPO		V		
		Baja	Media	Alta
Gr	Baja	T_1	T_1	T_3
	Media	T_5	T_5	T_6
	Alta	T_2	T_2	T_4

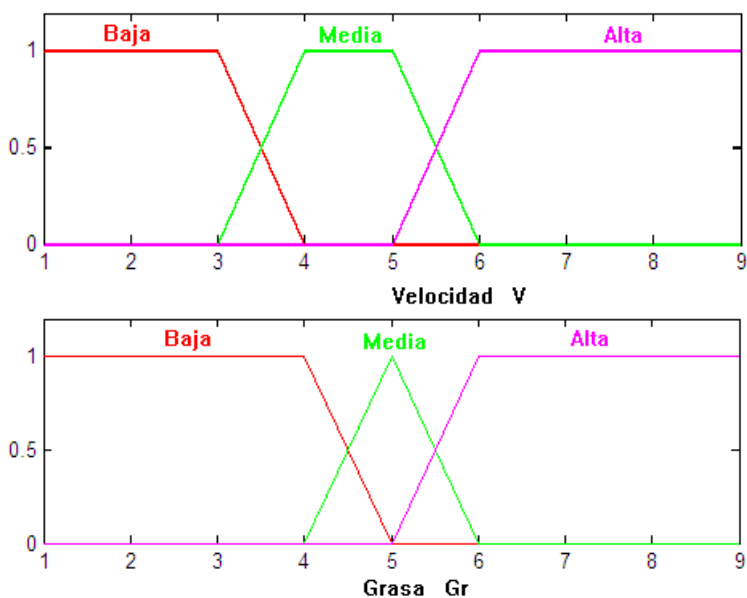


Figura 2 – Definición de los conjuntos borrosos en los universos de entrada

Tabla 3 –Valores de los consecuentes en el universo de salida Bp_N para UE1

Bp_{N1}	Bp_{N2}	Bp_{N3}	Bp_{N4}	Bp_{N5}	Bp_{N6}	Bp_{N7}	Bp_{N8}	Bp_{N9}
33.3%	30%	77.8%	60%	30%	66.7%	56%	44.4%	50%

Tabla 4 –Valores de los consecuentes en el universo de salida T para UE1

T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
180 min	240 min	150 min	210 min	210 min	180 min

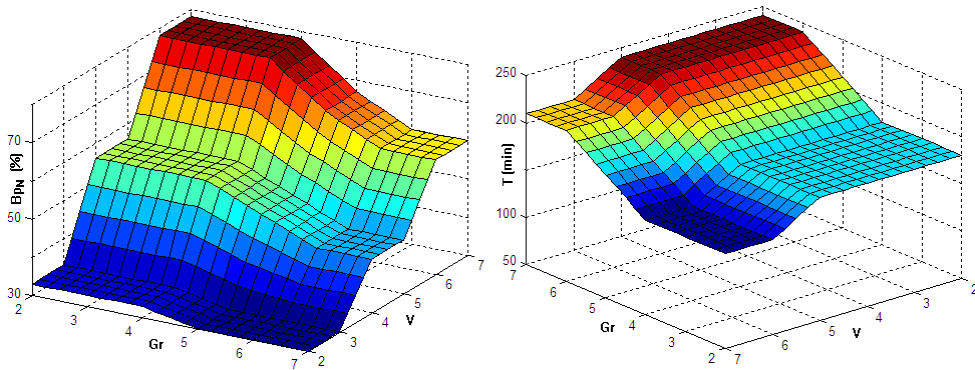


Figura 3 – *Mapping* entradas-salidas del controlador borroso para el usuario UE1

Con estos controladores incorporados, se ha probado durante varios meses el funcionamiento del sistema de decisión completo desarrollado (figura 1). Así, se ha comprobado que éste toma decisiones muy similares a las tomadas por el experto humano UE1, tanto en las situaciones que corresponden a los datos analizados, como a nuevas situaciones testeadas para diferentes ingestas, valores de glucemia y actividad prevista. Una vez que contamos con el “visto bueno” de nuestro experto, estamos preparados para comenzar la fase 2 del presente trabajo.

3.2. Desarrollo de un constructor semiautomático del controlador borroso

Este desarrollo se basa en la suposición de que, no los valores concretos de los parámetros, pero sí la estructura del estimador desarrollado en el apartado anterior para el sujeto UE1, es válido para diversos sujetos. Por tanto, la base de reglas será de la forma dada por las tablas 1 y 2, y el *mapping* entradas-salidas será, cualitativamente como el de la figura 3, pero los valores concretos de $T_1, \dots, T_6$ y $Bp_{N1}, \dots, Bp_{N9}$ serán diferentes.

Por otro lado, el desarrollo anterior se ha basado en el análisis de un gran número de decisiones “correctas” (tomadas por un experto), que se han conseguido imitar. Si se quiere hacer un sistema que sea utilizable por personas con poca experiencia, es

necesario que se pueda construir el estimador a partir de unas pocas decisiones “correctas” que el sujeto pueda tomar en poco tiempo, sólo o con ayuda de alguien más experimentado. Se ha considerado que con cuatro decisiones puede ser suficiente, ya que analizando las Tablas 3 y 4 vemos que se cumplen, aproximadamente, las siguientes relaciones:

$$Bp_{N5}=(Bp_{N1}+Bp_{N2})/2; Bp_{N6}=(Bp_{N3}+Bp_{N4})/2; Bp_{N7}=(Bp_{N1}+Bp_{N3})/2;$$

$$Bp_{N8}=(Bp_{N2}+Bp_{N4})/2; Bp_{N9}=(Bp_{N1}+Bp_{N2}+Bp_{N3}+Bp_{N4})/4$$

$$T_5=(T_1+T_2)/2; T_6=(T_3+T_4)/2;$$

Por tanto, basta con saber los valores de Bp_{N1} , Bp_{N2} , Bp_{N3} , Bp_{N4} , T_1 , T_2 , T_3 , y T_4 , es decir, basta con que el paciente sepa tomar las decisiones correspondientes a las reglas de las esquinas de la tabla de 9 reglas, y el resto de los consecuentes se calculan con las relaciones escritas arriba. Los consecuentes así calculados para el sujeto UE1 son muy similares a los valores de las tablas 3 y 4. Por ello, como cabe esperar, las decisiones tomadas por el estimador que resulta de la creación automática del controlador borroso son también muy similares a las resultantes del estimador construido con el análisis extenso de datos. Parece, por tanto, correcto el método de creación propuesto, pero hay que ver si con él se puede construir un sistema de decisión válido para otro usuario. Esto constituye la fase 3 de esta parte del trabajo.

3.3 Construcción del controlador borroso para el sujeto UE2

Se ha procedido a construir un nuevo estimador para el sujeto UE2, con el método desarrollado. La estructura general es la de la figura 1, donde los datos de factor de sensibilidad a la insulina S y ratio insulina/carbohidratos R son los del nuevo usuario.

Para la construcción de los dos controladores borrosos correspondientes a las franjas horarias de almuerzo/comida y merienda/cena, se ha preguntado a este segundo usuario las decisiones correctas de % de bolus N y tiempo de administración para las dos franjas, en las situaciones correspondientes a las esquinas de la tabla de reglas 3x3. Para la franja almuerzo/comida se obtuvo:

- Velocidad $V=3$, Grasas $Gr=3$. La respuesta fue $Bp_{N1} = 70\%$ y $T_1=120$ min.
- Velocidad $V=3$, Grasas $Gr=7$. La respuesta fue $Bp_{N2} = 60\%$ y $T_2=210$ min.
- Velocidad $V=7$, Grasas $Gr=3$. La respuesta fue $Bp_{N3} = 80\%$ y $T_3=60$ min.
- Velocidad $V=7$, Grasas $Gr=7$. La respuesta fue $Bp_{N4} = 70\%$ y $T_4=150$ min.

Con estos datos, y las relaciones presentadas en la sección anterior, se calcularon el resto de los valores de los consecuentes, y se construyeron los dos controladores de nueve reglas. Los consecuentes para el controlador de la franja almuerzo/comida se presentan en las tablas 5 y 6, y el *mapping* entradas-salidas correspondiente en la figura 4.

Tabla 5 –Valores de los consecuentes en el universo de salida Bp_N para UE2

Bp_{N1}	Bp_{N2}	Bp_{N3}	Bp_{N4}	Bp_{N5}	Bp_{N6}	Bp_{N7}	Bp_{N8}	Bp_{N9}
70%	60%	70%	80%	65%	65%	75%	75%	70%

Tabla 6 –Valores de los consecuentes en el universo de salida T

T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
120 min	210 min	60 min	150 min	165 min	105 min

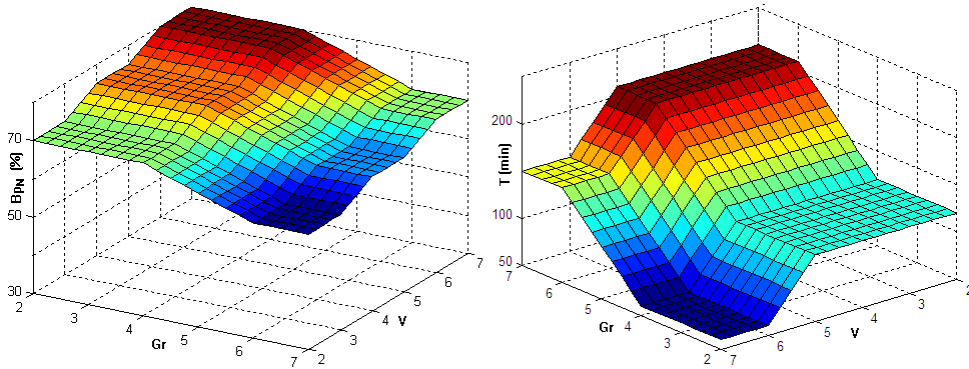


Figura 4 – *Mapping* entradas-salidas del controlador borroso para el usuario UE2

Hay que destacar que los dos usuarios son muy diferentes. El sujeto UE1 es un hombre de 52 años y el sujeto UE2 una mujer de 15 años sin relación genética con el primero. Es por ello que el controlador borroso construido para UE2 es sensiblemente diferente al construido para UE1, como se puede ver comparando las tablas correspondientes, así como las figuras 3 y 4. En particular, se puede observar que para el primer usuario las decisiones en cuanto a % de bolus N pueden variar bastante, entre un 30% y casi un 80%, y no tanto el tiempo de administración, que varía entre 150 min y 240 min. En cambio, para el segundo usuario los % de bolus N están siempre entre el 60% y el 80%, mientras que el tiempo de administración es más variable, pudiendo tomar valores entre 60 min y 210 min.

Las decisiones que resultan del sistema de decisión completo (figura 1) construido para el segundo usuario experto UE2 han recibido su visto bueno durante un largo periodo de tiempo en diversas situaciones, con diferentes ingestas, niveles de glucemia y actividad prevista. Estos resultados nos hacen esperar que el sistema desarrollado funcione correctamente para diversos usuarios. Creemos, en todo caso, que las ideas implementadas suponen una interesante vía de investigación en el desarrollo de sistemas de decisión y control para optimizar el uso de bombas de insulina.

4. Estructura del sistema de decisión para el usuario

Desde el punto de vista del usuario, el sistema desarrollado consta de dos programas. El primero sirve para construir el sistema de decisión personal para dicho usuario. El segundo es el que contiene el código correspondiente a dicho sistema de decisión o estimador.

El constructor pide al usuario:

- La ratio insulina/carbohidratos R para cada franja horaria
- El factor de sensibilidad a la insulina S para cada franja horaria
- Los valores de bolus C y bolus N correspondientes a un menú de $V=3$, $Gr=3$
- Los valores de bolus C y bolus N correspondientes a un menú de $V=3$, $Gr=7$
- Los valores de bolus C y bolus N correspondientes a un menú de $V=7$, $Gr=3$
- Los valores de bolus C y bolus N correspondientes a un menú de $V=7$, $Gr=7$

y da como resultado un fichero con todos los datos del usuario y los controladores borrosos diseñados para él, que se almacena en disco y será leído por el sistema de decisión cada vez que se utilice.

El sistema de decisión pide al usuario:

- La franja horaria en la que se encuentra
- Los platos que va a ingerir y el peso de cada uno
- El valor de la actividad prevista en una escala del 1 al 9
- El nivel de glucemia actual

y da como resultado el valor de bolus N y bolus C en unidades y el tiempo de suministro de la insulina en bolus de tipo C .

5. Conclusiones

Se ha desarrollado un sistema de decisión que emula las decisiones de un experto para la administración de insulina mediante bomba. El sistema estima la cantidad de insulina que ha de suministrarse en una situación dada, así como la parte que ha de aplicarse en el suministro inicial y la parte en forma continua, así como el tiempo durante el que hay que suministrar ésta última. El estimador desarrollado tiene en cuenta las características de cada usuario y el ritmo circadiano, y es capaz de tomar decisiones correctas en diversas situaciones: diferentes valores iniciales de glucemia, ingestas variadas en tipo y cantidad, y distintas previsiones de actividad.

Además se ha ideado un método semiautomático de ajuste de los parámetros del sistema de decisión, en particular de los controladores borrosos que lleva integrados. Con él, un usuario novel sólo tiene que saber o aprender a decidir la cantidad y forma de administración de la insulina en cuatro situaciones consideradas representativas. Con estos datos se construye para dicho usuario su estimador personal, que es capaz de tomar decisiones en situaciones muy alejadas de las cuatro solicitadas para el ajuste de los controladores.

El sistema completo se ha validado con un usuario experto de características muy diferentes al que nos ha proporcionado los datos a partir de cuyo análisis hemos desarrollado el método. Está siendo utilizado con éxito para la detección de fallos en sus propias decisiones por los dos usuarios expertos con los que hemos trabajado.

Consideramos que las ideas implementadas son una vía muy prometedora para avanzar en el diseño de sistemas de ayuda verdaderamente útiles a corto plazo para pacientes diabéticos que quieran aprender u optimizar el uso de bombas de insulina. En este sentido las principales líneas de trabajo futuro incluyen, en primer lugar, la programación del sistema como una aplicación para teléfono móvil. Nuestra intención

sería dejarlo como código abierto una vez esté terminado. Por otro lado, proseguiremos la comprobación de nuestro sistema en más usuarios. Finalmente, a medio plazo queremos estudiar la manera de combinar un sistema de decisión como el diseñado aquí con algún tipo de control realimentado que haga posible el tratamiento automático de perturbaciones.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen enormemente la ayuda de Juan Luis Rueda y Montserrat Parrales, sin cuya colaboración habría sido imposible la realización de este trabajo. También agradecen los comentarios y sugerencias de Daniel Royo, y el apoyo mostrado por los miembros de la Asociación Navarra de Diabéticos.

Referencias bibliográficas

- Anantha, S.K., Natarajan, S.K., Dash, S.S., (2013), Modeling and Simulation of Fuzzy Based Automatic Insulin Delivery System, *Journal of Computer Science*, 9 (9), 1133-1139.
- Bondia, J., Vehí, J., Palerm., C.C. & Herrero, P., (2010). El Páncreas Artificial: Control Automático de Infusión de Insulina en Diabetes Mellitus Tipo 1, *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 7(2), 5-20.
- Campos-Delgado, D. U., Hernández-Ordoñez, M., Femat, R., Gordillo-Moscoso, A., (2006), Fuzzy-Based Controller for Glucose Regulation in Type-1 Diabetic Patients by Subcutaneous Route, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 53 (11), 2201-2210.
- Cryer, P.E., (2002). Hypoglycemia: the Limiting Factor in the Glycaemic Management of Type I and Type II Diabetes, *Diabetologia*, 45, 937-948.
- Foster-Powell, K, Holt, S.H.A. & Brand-Miller, J.C, (2002). International Table of Glycemic Index and Glycemic Load Values: 2002, [*American Journal of Clinical Nutrition*, 76\(1\), 5-56.](#)
- Gross, T.M., Kayne, D., King, A., Rother, C. & Juth, S., (2003). A Bolus Calculator is an Effective Means of Controlling Postprandial Glycemia in Patients on Insulin Pump Therapy, *Diabetes Technology & Therapeutics*, 5(3), 365-369.
- Jang, J.S.R., Sun, C.T, Mizutani, E., (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing. A computational approach to learning and machine intelligence*, Prentice Hall.
- Jayaraj, N., Cherian, C.M., Vaidyanathan, S.G., (2009), Intelligent Insulin Infuser, *Proceedings of the Third UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation*, 74-78.
- Jeitler, K., Horvath, K., Berghold, A., Gratzner, T.W., Neeser, K., Pieber, T.R., Siebenhofer, A., (2008). Continuous Subcutaneous Insulin Infusion versus Multiple Daily Insulin Injections in Patients with Diabetes Mellitus: Systematic Review and Meta-analysis, *Diabetologia*, 51 (6), 914-951.

- Kardar, L., Fallah, A., Gharibzadeh, S., Moztarzadeh, F., (2008). Application of Fuzzy Logic Controller for Intensive Insulin Therapy in Type 1 Diabetic Mellitus Patients by Subcutaneous Route, *WSEAS Transactions on Systems and Control*, 3 (9), 712-721.
- Mamdani, E.H., Assilian, S. (1975). An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller, *International Journal of Man-Machine Studies*, 7 (1), 1-13.
- Murillo, S., (2012). Índice Glucémico de los Alimentos, *www.fundaciondiabetes.org*
- Steil, G.M., Rebrin, K., Darwin, C., Hariri, F., & Saad, M.F., (2006). Feasibility of Automating Insulin, Delivery for the Treatment of Type 1 Diabetes, *Diabetes*, 55, 3344-3350.
- Sugeno, M.,(1985). *Industrial Applications of Fuzzy control*, Elsevier Science Pub. Co.
- UNED (2014). Guía de Alimentación y Salud. Alimentación en las Enfermedades: Diabetes, *www.uned.es*
- Zisser, H., Robinson, L., Bewier, W., Doyle III, F.J., & Jovanovic, L., (2008). Bolus Calculator: a Review of four “Smart” Insulin Pumps, *Diabetes Technology & Therapeutics*, 10 (6), 441-444.

Sistema de Apoio à Decisão para o Transporte Não Urgente de Doentes em Veículo Partilhado

José António Oliveira¹, João Ferreira¹, Manuel Figueiredo¹, Luis Dias¹, Guilherme Pereira¹

**Jose.Oliveira@algoritmi.uminho.pt, joao.aoferreira@gmail.com,
{Manuel.Figueiredo|Luis.Dias|Guilherme.Pereira}@algoritmi.uminho.pt**

¹ Centro de Investigação ALGORITMI, Escola de Engenharia – Universidade do Minho, Escola de Engenharia – Universidade do Minho, Campus Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal

DOI: 10.4304/risti.13.17-33

Resumo: O transporte não urgente de doentes em Portugal foi alvo de reformulação legislativa de modo a reduzir os custos que acarretava. Neste artigo apresentam-se métodos heurísticos para a formação de agrupamentos de doentes a serem transportados na mesma viatura. São apresentados resultados computacionais que validam os algoritmos desenvolvidos. Os algoritmos podem ser facilmente integrados num sistema de apoio à decisão.

Palavras-chave: Algoritmo Genético; Problema de Roteamento de Veículos; Transporte a Pedido; Problemas da Orientação de Equipas; Transporte Não Urgente de Doentes.

Decision Support System for Not Urgent Transportation of Patients in Shared Vehicle

Abstract: The non-emergency patient transport service in Portugal was targeted by legislative reforms aiming to reduce costs. This paper presents heuristic methods for grouping patients to be transported in the same vehicle. The computational results are presented and validate the developed algorithms. These algorithms can be easily integrated into a decision support system.

Keywords: Genetic Algorithm; Vehicle Routing Problem; Dial-a-Ride Problem; Team Orienteering Problem; Non-emergency Patient Transport Service.

1. Introdução

Em 2012, Portugal publicou em Diário da Republica (DRE) vários documentos sobre o transporte não urgente de doentes (TNUD). A motivação legislativa teve por base um imperativo previsto no Memorando de Entendimento assinado entre o Governo Português e o Fundo Monetário Internacional, o Banco Central Europeu e a União

Europeia, que estabeleceu ser necessário efectivar com urgência a concretização de medidas operacionais efetivas que reduzissem o custo de TNUD.

Em 2011, a Administração Regional de Saúde do Norte (ARSN, 2011) referiu a implementação de um sistema informático com o objectivo de otimizar a gestão do TNUD. Pode ler-se no documento publicado que o sistema informático “vai permitir um maior rigor ao nível da prescrição e, simultaneamente, assegura a sua organização de forma racional, promovendo o transporte múltiplo de utentes sempre que tal se justifique e seja possível.” A ARSN esperava alcançar uma redução dos custos de transportes na ordem dos 3.000.000€ referente a uma redução de 20% dos custos.

O Ministério da Saúde (DRE, 2011) mandou a um grupo de trabalho a responsabilidade de estudar, analisar e propor medidas no âmbito do TNUD. O grupo de trabalho apresentou um relatório com um conjunto de orientações, algumas das quais vieram a ser objeto de publicação em Diário da República.

O regime de TNUD encontra-se definido pelas Portarias n.º 142-A/2012 (DRE, 2012a) e n.º 142-B/2012 (DRE, 2012b) e pelos Despachos n.º 7702-A/2012 (DRE, 2012e), e n.º 7702-C/2012 (DRE, 2012f). Foi necessário publicar legislação adicional de forma a rever alguns pontos particulares (DRE, 2012c; DRE, 2012d; DRE, 2012g; DRE 2012h). Adicionalmente, encontra-se legislado os valores de custo de transporte a ser suportado pelo Serviço Nacional de Saúde (SNS), no caso dos utentes com insuficiência económica (DRE, 2012e; DRE, 2012f).

2. Enquadramento do Problema Real

Nesta secção apresenta-se o problema real, descrevendo questões importantes que resultam da leitura da legislação.

2.1. Definição de Transporte Não Urgente de Doentes

À luz da legislação em vigor em 2014 em Portugal (DRE, 2012b), e no que diz respeito ao acesso às prestações do Serviço Nacional de Saúde (SNS), por parte dos utentes, considera-se TNUD o transporte associado à realização de uma prestação de saúde e cuja origem ou destino sejam os estabelecimentos e serviços que integram o SNS ou as entidades de natureza privada ou social com acordo, contrato ou convenção para a prestação de cuidados de saúde, nas seguintes condições: Consultas, internamento ou cirurgia de ambulatório; Tratamentos ou exames complementares de diagnóstico e terapêutica; Transporte do doente após a alta de internamento, com prévia prescrição médica; Transporte do doente após a alta de urgência, com prévia prescrição médica.

2.2. Prescrição do Transporte

A prescrição do transporte é da exclusiva competência do médico assistente, que deve obrigatoriamente registar os seguintes elementos no sistema de apoio ao médico (SAM) ou sistema equivalente: A justificação clínica, devidamente fundamentada, da necessidade de transporte; A verificação da condição económica; Nos casos em que haja necessidade de efetuar o transporte em ambulância: i) A justificação da modalidade de transporte; ii) As condições em que o transporte deve ocorrer, nomeadamente se o doente necessita de ventilação, oxigénio, monitorização, cadeira de

rodas ou se trate de doente acamado ou isolado; A justificação da necessidade de acompanhante; A justificação da necessidade de acompanhamento de profissional de saúde. Após prescrição do transporte pelo médico, os serviços administrativos da entidade requisitante validam a condição económica do doente e procedem à requisição do transporte.

A requisição do transporte obedece aos critérios de minimização da distância entre o local de origem, que deve corresponder à morada a partir da qual o transporte é efetuado, e o local de destino, que deve ter em conta a localidade mais próxima do local de origem. O TNUD é realizado em ambulância ou em veículo de transporte simples de doentes (VTSD), que é um veículo ligeiro de passageiros, com lotação máxima de 9 lugares, destinado ao TNUD, cuja situação clínica não impõe a necessidade de cuidados de saúde durante o transporte.

O transporte não urgente de doentes é realizado, sempre que possível, em VTSD, tendo em consideração a necessidade de otimização da capacidade do veículo à luz dos seguintes critérios: a) Agrupamento de utentes que independentemente da origem se inserem no mesmo percurso; b) Destinados a estabelecimento de saúde preferencialmente no mesmo concelho e ou área geográfica; c) Utes para o mesmo período horário de consulta ou tratamento.

O recurso a ambulâncias de transporte individual deve ser justificado, de forma fundamentada, pelo médico assistente. Para efeitos da realização do agrupamento de utentes admitem-se desvios ao percurso iguais ou inferiores a 10 km ou 30 minutos. Esclarece a Administração Central do Sistema de Saúde (ACSS, 2014) que poderá acontecer um transporte em VTSD ser efetuado apenas com um doente em virtude de não se verificar a necessidade de transportar mais doentes no mesmo período e trajeto, factos impeditivos do agrupamento de doentes.

2.3. Organização do Transporte

Cabe à entidade requisitante a organização do transporte e a sua valorização de acordo com critérios de racionalidade económica obedecendo ao princípio de agrupamento de doentes transportados em função da otimização do percurso, dos estabelecimentos de destino e dos horários da prestação.

A requisição de transporte é efetuada por via informática através da aplicação de gestão integrada de transporte (AGIT), com base na informação inicial gerada no SAM. A requisição deve ser disponibilizada ao transportador através da AGIT, antes da realização do transporte. A requisição deve ainda ser disponibilizada à entidade prestadora dos cuidados de saúde, através da AGIT. Para garantir a integridade da informação, deve existir uma interligação entre as diferentes aplicações informáticas, nomeadamente entre o SAM e a AGIT. A AGIT deve possibilitar o acesso da entidade requisitante, do transportador, da entidade prestadora de serviço e da entidade supervisora.

O transporte deve ser programado e requisitado com a antecedência mínima de 48 horas. Em situações pontuais e de natureza excecional, o prazo referido no número anterior pode não ser observado desde que devidamente autorizado e exista acordo entre a entidade requisitante e a transportadora. A hora limite de aceitação tácita de

aprovação/autorização de requisições do transporte diária, no sistema informático, ocorre até às 15 horas e 30 minutos.

Os pedidos de transporte são agrupados tendo em conta os horários das prestações de cuidados às quais os doentes se destinam, de acordo com:

- a) Se o destino se situar, preferencialmente, dentro dos limites geográficos do concelho de origem dos doentes ou num raio não superior a 10 km, estes são agrupados com intervalos, entre a prestação do primeiro doente e a do último, de uma hora;
- b) Caso o destino se situe fora do concelho de origem dos doentes, o intervalo entre a prestação do primeiro doente e a do último pode ser de duas ou quatro horas, consoante o número de quilómetros a percorrer seja, respetivamente, inferior ou superior ao número de quilómetros a fixar por cada entidade responsável pela organização do transporte em função das suas características geográficas, num intervalo de 100 km a 130 km.

A lei estabelece que na “*otimização dos percursos*” deve ser aplicada a regra do desvio máximo, ou seja, podendo ser agrupados os doentes, para um percurso e ao longo do mesmo, para além das freguesias e concelhos, desde que não exista um desvio superior a 10 km ou 30 minutos, inerente a cada recolha de doentes para o transporte único em apreço, sendo observados os limites referidos na alínea b) do parágrafo anterior.

2.4. Encargos do Transporte

Os encargos resultantes do TNUD são da responsabilidade da entidade requisitante. Deste modo torna-se importante para a entidade requisitante a otimização e racionalização do processo de transporte não urgente de doentes. Não se conhece o modo como a entidade requisitante deve fazer a otimização dos TNUD, pelo que se considera este estudo ser oportuno e um contributo importante.

2.5. Revisão de Literatura

Recentemente Díaz-Parra et al. (2014) publicaram uma revisão do estado da arte sobre o problema dos transportes que apresenta várias variantes de problemas, formulações matemáticas e técnicas utilizadas na solução dos problemas.

A área da saúde é fértil em problemas de gestão e organização que têm vindo a ser estudados ao longo das últimas décadas (Stiver et al. 1982, Begur, Miller e Weaver, 1997). O estudo deste tipo de problemas é crescente, e no mundo ocidental resulta do aumento da procura dos cuidados da saúde e da necessidade de se manter os custos sociais o mais baixo possível. O aumento da procura de cuidados de saúde tem dois vetores que justificam o seu crescimento: a democratização do acesso aos cuidados de saúde nas sociedades desenvolvidas e o envelhecimento da população.

O transporte na área da saúde é um assunto estudado na literatura de otimização de processos logísticos desde há muitos anos. Têm sido aplicados com sucesso na área da saúde os desenvolvimentos realizados na logística industrial, quer ao nível do transporte, quer da planificação, quer da informação. Hoje em dia, sistemas de informação dão apoio à tomada da decisão, permitindo obter ganhos de eficácia e de

eficiência. Vaisblat e Albert (2013) efetuaram um estudo sobre o escalonamento de uma frota especial atendendo às necessidades dos pacientes. Hains et al. (2011) abordaram a questão da segurança e da qualidade no TNUD.

Um dos problemas mais estudados na Gestão Logística é o problema de roteamento de veículos (VRP – *Vehicle Routing Problem*), em que basicamente se pretende definir para um conjunto de viaturas as rotas de visita a locais bem definidos. Este problema apresenta um grande número de variantes, que abordam situações particulares ou mais específicas. Uma das variantes do VRP é o transporte de mercadorias (Berbeglia et al. 2010), em que se pode ter a situação de entrega e recolha de bens (PDP - *Pickup and Delivery Problems*). Em geral são uma classe dos problemas de roteamento de veículos em que os objetos (ou as pessoas) têm de ser transportados entre uma origem e um destino. Conforme apresenta Berbeglia et al. (2010), estes problemas podem ser classificados em três grupos quanto à origem e destino das mercadorias: o primeiro grupo é composto pelos problemas “muitas(origens)-para-muitos(destinos)”, em que qualquer vértice pode servir como uma fonte ou como um destino para qualquer mercadoria; no segundo temos a situação “uma(origem)-para-muitos(destinos)-para-um(destino) final”; e por fim no terceiro grupo temos a situação “uma(origem)-para-um(destino)”.

Os mesmos autores (Berbeglia et al. 2010) referem a natureza estática ou dinâmica deste tipo de problemas. No caso estático, toda a informação é conhecida antecipadamente e não se altera durante a fase da construção e implementação da solução. No caso dinâmico, a informação disponível é atualizada (alterada) à medida que se constrói ou se implementa parte da solução, por força de novos pedidos dos utilizadores. Nestes problemas, a solução proposta será uma estratégia de solução que pode também ser alterada com o decorrer do tempo. Tipicamente situações dinâmicas deste tipo ocorrem nos problemas de transporte a pedido de utentes com necessidades especiais, onde é enviado uma viatura ao local onde se encontram para serem transportados ao seu destino. A vertente dinâmica deste problema resulta do facto de os pedidos de transporte surgirem por vezes no mesmo dia em que necessitam de ser realizados: este tipo de problema designa-se por DARP (*Dial-A-Ride Problem*).

Ainda não existem muitos estudos sobre PDP dinâmicos, em particular nas variante dinâmica “uma(origem)-para-muitos(destinos)-para-um(destino) final”. Um dos problemas dinâmicos mais estudados designa-se por OldARP (*On-line Dial-A-Ride Problem*) (Hauptmeier et al. 2000; Feuerstein e Stougie, 2001; Jaillet e Wagner, 2008). Este problema não apresenta as restrições adicionais que delimitam o desconforto do utilizador, tais como a duração máxima da viagem e a duração da janela temporal, conforme aparece no DARP dinâmico.

O DARP quer na versão estática ou dinâmica tem recebido importantes contributos, como por exemplo a revisão de Cordeau e Laporte (2007). O estudo com uma única rota para este problema foi realizado por Psaraftis (1988) onde os clientes solicitam um serviço a ser disponibilizado tão cedo quanto possível. Sempre que um novo pedido é introduzido, o sistema atualiza a instância e a partir da rota parcialmente realizada tenta acomodar o novo pedido na rota que falta concretizar. Por seu lado, Madsen et al. (1995) apresentaram um algoritmo para um caso real do DARP dinâmico com múltiplos veículos que atendia até 300 pedidos diários para o transporte de pessoas com necessidades especiais.

3. O Modelo

O problema real que é estudado neste artigo diz respeito ao transporte não urgente de doentes de suas casas para o hospital e do hospital para suas casas. Atualmente em Portugal o serviço de transporte funciona na modalidade em que os doentes são recolhidos em suas casas para tratamento hospitalar e novamente transportados para suas casas. Configura-se a situação -“muitas(origens)-para-um(destino)-para-muitos(destinos)”. Está inclusive previsto o pagamento do tempo de espera que a viatura faz junto ao hospital pelos doentes que transportou. A forma como se organiza o transporte não está claramente estabelecida na legislação.

3.1. Comparação de Estratégias de Transporte

Considere-se o seguinte exemplo numérico para ilustração do problema real, apresentado na Figura 1, onde são apresentados 4 vértices (O, A, B e C), em que O representa a origem onde se encontra a viatura que para efeitos de simplificação considera-se ser também o hospital. Os vértices A, B e C representam a localização das pessoas a serem transportadas para o hospital. A Figura 1 apresenta uma solução que utiliza 3 viaturas, significando o transporte mais cómodo, mais rápido e mais flexível dos doentes. Qualquer outra situação não será tão cómoda para os utentes. Pode-se assumir que esta solução irá representar o limite máximo a pagar pela unidade hospitalar.

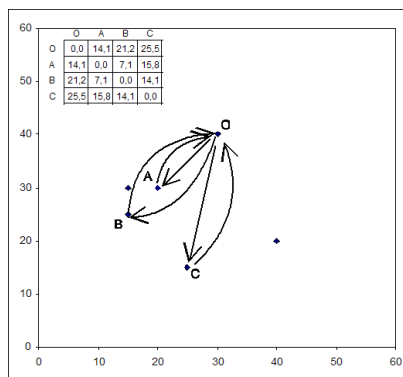


Figura 1 – Transporte individual

Considerando a tabela de distâncias (euclidianas) representada na Figura 1, a distância total percorrida pelas três viaturas (com origem e regresso a O) é 121,6 unidades $((14,1+21,2+25,5)*2)$. As 13 possibilidades de se fazer o transporte deste pequeno exemplo com diferentes números de viaturas é mostrado na Tabela 1, em que as cores representam diferentes viaturas.

Tabela 1 – Soluções possíveis

Solução			1)	2)	3)	4)	5)	
A	B	C	1	28,8	43,2	52,0	124,0	0,0
A	B	C	2	8,6	43,2	52,0	103,9	20,1
B	A	C	3	43,2	8,6	52,0	103,9	20,1
A	C	B	4	11,3	43,2	56,5	111,1	13,0
C	A	B	5	56,5	43,2	11,3	111,1	13,0
B	C	A	6	28,8	12,4	62,0	103,2	20,8
C	B	A	7	28,8	62,0	12,4	103,2	20,8
A	B	C	8	12,4	12,4	62,0	86,8	37,2
A	C	B	9	13,3	66,5	13,3	93,1	30,9
B	A	C	10	14,2	14,2	71,0	99,4	24,6
B	C	A	11	66,5	13,3	13,3	93,1	30,9
C	A	B	12	14,2	71,0	14,2	99,4	24,6
C	B	A	13	62,0	12,4	12,4	86,8	37,2

A solução 1 utiliza três viaturas, as soluções 2 a 7 utilizam duas viaturas, e as restantes soluções utilizam uma viatura. A solução 5 estabelece a rota O-C-A-O para uma viatura e a rota O-B-O para a outra viatura. A solução 1 é a solução em que cada utente faz um transporte individual e por esse motivo cada utente viaja a menor distância possível, conforme é ilustrado na Figura 1. As colunas 1), 2) e 3) estabelecem o custo total do transporte, para os vértices A, B e C, de acordo com a legislação, refletindo já a viagem de casa do utente para o hospital e regresso a casa. No caso do transporte individual da solução 1, para cada utente é aplicado o custo de 0,51€ por km. Em concreto para o utente em A, o custo de transporte é 28,8 ($=14,1 \times 4 \times 0,51$). Nos casos de agrupamento, segundo a lei, o utente mais distante é designado de “primeiro doente” e é aplicado esta forma de cálculo. Para os restantes utentes que são incluídos no mesmo transporte, é cobrado 20% do valor cobrado pelo “primeiro utente”. A coluna 4) apresenta a soma dos custos 1)...3). O menor valor da soma dos custos foi obtido na solução 8 e na solução 13. A coluna 5) apresenta a diferença do custo de cada solução para a solução 1 que é a solução mais confortável para os utentes. A coluna 5) pode ser usada como uma função objetivo deste problema onde se pretende maximizar a poupança dos custos de transporte relativamente à solução do transporte individual. Esta função objetivo identifica a solução 8 e a solução 13 como sendo as melhores soluções. A Figura 2 apresenta a solução 8 e a solução 13. Nestas soluções utiliza-se uma única viatura. Na solução 8 o utente transportado do vértice C é o último a ser recolhido, enquanto que na solução 13 o utente C é o primeiro a ser recolhido, e à luz da legislação configura-se como sendo o doente mais distante do hospital. No espírito da Lei, a solução 8 não pode ser considerada, porque pretende-se encontrar soluções onde se minimiza para cada utente a distância percorrida até ao hospital.

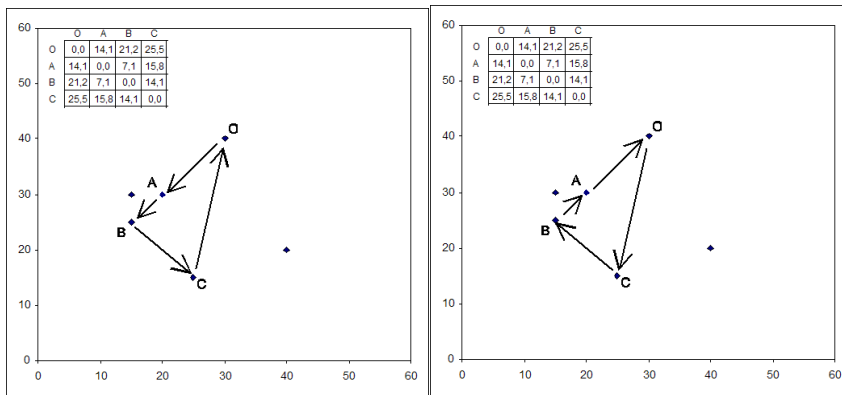


Figura 2 – Transporte partilhado numa viatura

Para se verificar se a solução 13 é uma solução que cumpre as restrições sobre os desvios permitidos pela lei, referidos na Secção 2.2, calcula-se o aumento da viagem para o utente C, dado que os utentes A e B não têm aumento de distância face à solução de transporte individual. O percurso C-B-A-O tem uma distância 35,3 ($=14,1+7,1+14,1$) enquanto o percurso C-O tem uma distância 25,5. Verifica-se um aumento de 9,8 que é inferior ao limite de 10 imposto pela lei, o que valida a solução. Considera-se nesta exemplificação que em termos de velocidade é efetuada 60km/h o que significa o mesmo valor das unidades da distância percorrida. Porém, se a viatura se deslocar a uma velocidade média inferior a 19,6 km/h demoraria mais de 30 minutos, partindo de C, a efetuar o desvio para recolher os utentes B e A, o que tornaria a solução não admissível. A solução 8 é não admissível devido à não verificação do desvio máximo permitido para o doente A, senão vejamos: o trajeto de A-O igual a 14,1 passaria para 46,7 A-B-C-O.

Existem ainda restrições adicionais relativamente aos tempos de espera que os utentes A, B e C terão acrescidos pelo facto de esperarem pelo último utente a ser consultado; e relativamente ao tempo de início das consultas de cada um dos utentes. A conceção de um algoritmo construtivo para o agrupamento de doentes para a realização de TNUD múltiplo tem de ser incorporado num sistema de informação capaz de obter informação registada no AGIT de modo a verificar todas as restrições impostas pela lei.

O espírito do legislador visava o agrupamento para rotas alongadas, que ao invés não permite a elaboração de rotas mais arredondadas. A Figura 3 ilustra duas rotas, em que a rota arredondada mesmo tendo um comprimento menor, não é aceite devido ao não cumprimento do desvio máximo permitido.

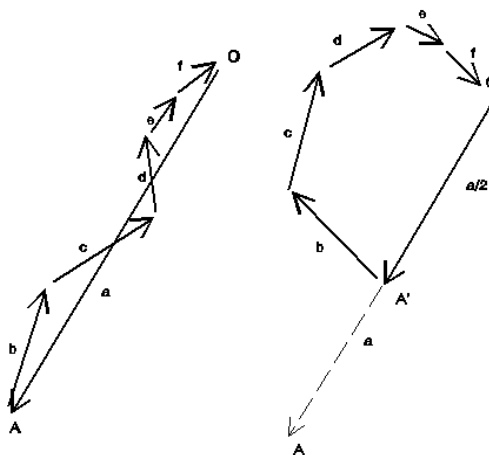


Figura 3 – Rota alongada (esq.) vs. Rota arredondada (dir.)

3.2. O Modelo TOP

O Problema de Orientação de Equipas (TOP - Team Orienteering Problem) é um problema de encaminhamento de viaturas do âmbito do VRP. Este problema é relativamente recente e tem recebido uma significativa atenção por parte da comunidade científica (Vansteenwegen, Souffriau, Oudheusden, 2011; Archetti, Speranza e Vigo, 2013), quer apresentando metodologia de solução exata (Archetti, Bianchessi e Speranza, 2013), quer metodologia de solução aproximada (Hu e Lim, 2014). Vansteenwegen e a sua equipa mantêm um repositório de instâncias públicas (The Orienteering Problem: Test Instances, 2014).

A principal diferença entre o TOP e o VRP está relacionada com o facto de no TOP nem todos os vértices do grafo (clientes) terão de ser visitados, tal como acontece no VRP. No TOP poderão não ser atendidos alguns dos clientes. Em vez de se usar o modelo baseado no problema VRP decidiu-se modelar pelo formato do TOP. O que irá acontecer é que dada uma lista de doentes não urgentes para os quais foi solicitado transporte e dada uma frota de viaturas disponível com lotação de oito lugares, faz-se a atribuição de serviços de transporte de modo a maximizar a ocupação da viatura e minimizar a distância percorrida. Os doentes que não podem ser integrados nas rotas destas viaturas serão transportados em ambulâncias especialmente requisitadas para este serviço.

Gutiérrez-Jarpa et al. (2009) estudaram o problema com entregas fixas e recolhas opcionais, tornando este problema uma situação mista de VRP para a entrega e TOP para a recolha. Os autores estudaram o caso particular de uma única viatura e apresentaram um novo método *branch-and-cut* que permite resolver instâncias maiores. Apesar do grande interesse prático que esta modelação tem para a logística inversa, os autores referem terem encontrado somente o trabalho de Gribkovskaia et al. (2008), que também só considera uma única viatura. A nova formulação proposta permitiu solucionar instâncias ainda em aberto e por outro lado reduziu significativamente o tempo de solução. O método consegue resolver instâncias até 90 vértices. Os autores referem a necessidade de se estender a investigação aos casos com

múltiplos veículos e o desenvolvimento de heurísticas para a solução de instâncias de grandes dimensão.

Dado que o agrupamento de doentes é uma situação fortemente restringida, é nossa opção modelar o problema real apresentado pelo SNS como uma resolução de um problema TOP, para o conjunto de viaturas disponíveis. Os vértices não incluídos nas rotas do problema TOP serão os utentes que farão o trajeto em transporte individual.

4. Metodologia Desenvolvida

4.1. O Algoritmo Construtivo

É possível definir-se um método para a construção das rotas do tipo algoritmo de inserção de menor custo, com vista à elaboração de rotas válidas. A Figura 4 ilustra um algoritmo construtivo para a geração de rotas.

Considere-se o exemplo numérico da Tabela 2 com oito utentes, em que o vértice O representa o hospital. Por simplicidade considera-se que as viaturas estão localizadas em O (depósito).

input: L = lista de vértices (matriz de distâncias)
output: conjunto de rotas TOP & rotas individuais

início:
enquanto houver vértices em L por visitar
 selecionar vértice i de L mais distante de O
 remover vértice i de L
 Laux=L
 last=i
 iniciar nova rota O-last-O
 enquanto houver vértices em Laux por visitar
 selecionar vértice k de Laux
 se O-last-j-O é solução admissível inserir j na rota
 last=k
 remover vértice k de Laux
 fim enquanto
 fecha rota
fim enquanto
fim

Figura 4 – Algoritmo Construtivo

Tabela 2 – Lista de vértices

x	y	0	1	2	3	4	5	6	7	8
35	35	0	32,8	27,5	20,6	25	18	4,2	25	22,4
7	18	1	32,8	0	5,4	14,4	39,2	28	36,9	48
12	20	2	27,5	5,4	0	10,4	35,9	23,2	31,6	43
15	30	3	20,6	14,4	10,4	0	25,5	23,9	24,4	41,2
20	55	4	25	39,2	35,9	25,5	0	40,9	24,8	49,5
35	17	5	18	28	23,2	23,9	40,9	0	21,2	20,2
38	38	6	4,2	36,9	31,6	24,4	24,8	21,2	0	24,8
55	20	7	25	48	43	41,2	49,5	20,2	24,8	0
55	45	8	22,4	55,1	49,7	42,7	36,4	34,4	18,4	25

Seguindo o Algoritmo Construtivo, o vértice mais distante do depósito é o vértice 1. A distância da rota O-1-O é 65,6. O limite máximo permitido é uma rota de 75,6 (=65,6+10). O próximo vértice a ser testado é o vértice 2, que verifica a condição de

distância. A rota parcial O-1-2-O tem comprimento 65,7. O próximo vértice a ser testado é o vértice 3. A inclusão é válida e a rota O-1-2-3-O tem comprimento 69,2. O próximo vértice a ser testado é o vértice 4 mas a rota O-1-2-3-4-O tem distância 99,1 o que não é admissível. Nenhum dos restantes vértices pode ser adicionado, e a rota é fechada.

A aplicação do algoritmo produz a solução representada na Figura 5. A solução utiliza cinco viaturas, das quais três transportam um único utente. Foi possível agrupar três utentes numa viatura e agrupar dois utentes noutra viatura.

Um algoritmo construtivo elabora soluções rapidamente. Porém a qualidade das soluções pode ser muito baixa em termos de função objetivo. De modo a melhorar a qualidade das soluções pode ser usado um método de pesquisa local ou meta-heurística como por exemplo um algoritmo genético.

4.2. O Algoritmo Genético

O algoritmo genético (GA) é uma heurística de pesquisa que imita o processo da evolução das espécies. Este método utiliza técnicas inspiradas na natureza, tais como mutação, cruzamento, herança e seleção, para gerar soluções para problemas de otimização. O sucesso de um GA depende do tipo e da complexidade do problema ao qual ele é aplicado, embora, no nosso entender, seja o método mais apto a ser aplicado em problemas onde se tem pouco conhecimento específico do problema. Gavalas et al. (2014) apresentam uma revisão sobre modelos e abordagens de solução (GA incluídos) a um conjunto de problemas de roteamento.

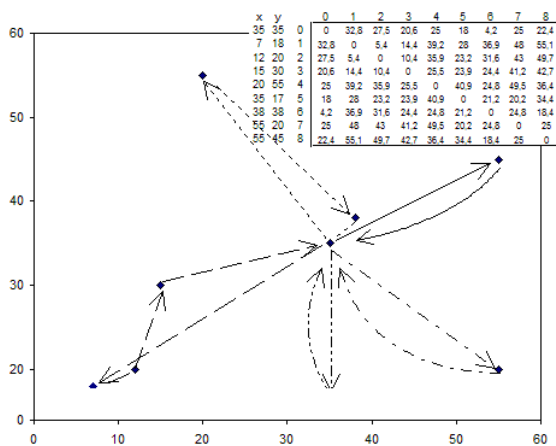


Figura 5 – Solução do algoritmo construtivo

4.2.1. O Cromossoma

Na ferramenta desenvolvida e apresentada neste trabalho, ao aplicar os conceitos de um algoritmo genético para modelar um TOP dedicado ao problema TNUD, assumiu-se que: há um conjunto de n pontos de recolha que devem ser visitados, no máximo, uma vez e por um único veículo; cada ponto de recolha é representado por um vértice

num grafo; A frota de m veículos está disponível num depósito; o depósito é representado por um vértice num grafo.

Num GA os cromossomas ou indivíduos são representados como cadeias de caracteres que codificam soluções candidatas para um problema de otimização, que vão evoluindo para melhores soluções. No TOP, um cromossoma pode ser composto por n genes, ou seja, um gene para cada vértice. Decidimos definir um cromossoma formado por n genes, em que cada gene define a prioridade do vértice para ser seleccionado para ser visitado. Esta estrutura foi adaptada do modelo de Chaves Aleatórias (Random Keys) apresentado por Morán-Mirabal et al. (2014).

4.2.2. Os Genes

Um cromossoma codifica uma solução possível, que no caso do TOP corresponde a um conjunto de m rotas válidas; cada gene representa um ponto de recolha e está associado ao vértice respectivo do grafo; um gene tem associado um alelo que corresponde à prioridade do ponto de recolha em ser visitado.

O gene i do cromossoma corresponde ao vértice i no grafo. O alelo (valor ou informação contida no gene) identifica a prioridade do vértice. Nos nossos algoritmos, em vez da utilização de valores convencionais no intervalo $[0, 1[$ para os alelos dos genes (Morán-Mirabal et al., 2014), usamos valores inteiros no intervalo $[0, n[$. No estabelecimento dos valores iniciais dos genes, a distância do vértice ao depósito é utilizada como fator de prioridade, uma vez que vértices mais distantes geram maior desvio permitido para agrupar mais vértices.

4.2.3. Descodificador do Cromossoma

Para se obter uma solução do problema a partir de um cromossoma é necessário interpretar o vetor de chaves aleatórias, e tal é feito utilizando um decodificador do cromossoma. No nosso estudo, a associação de um cromossoma a uma solução para o TOP é feita pelo algoritmo construtivo apresentado, que constrói a solução pela leitura dos alelos presentes nos genes do cromossoma. Os valores dos alelos servirão para ordenar os vértices na lista *Laux* do Algoritmo Construtivo apresentado na Figura 4.

4.2.4. Avaliação das Soluções

A concepção de um GA requer uma representação genética do domínio das soluções, bem como uma função de aptidão para avaliar a qualidade das soluções produzidas. No que diz respeito ao TNUD, a função de aptidão do algoritmo genético desenvolvido corresponde à poupança que é possível obter pelo agrupamento de doentes face à solução de transporte individual.

4.2.5. Implementação

Uma aplicação de software JAVA foi desenvolvida para implementar o algoritmo genético com duas variantes ao nível do algoritmo construtivo, e designou-se por GATOP-1 GATOP-2. A aplicação tem uma simples, mas funcional, Interface Gráfica do Utilizador (GUI - Graphical User Interface), com um conjunto de opções que permite que os parâmetros do GA possam ser ajustados e ajudar a obter melhores resultados

num problema ou instância específica do TOP. Há também um elemento de visualização (Solution Viewer), que ilustra o exemplo carregado e apresenta as rotas da melhor solução encontrada até ao momento, que são atualizadas em tempo real. Na Figura 6 apresenta-se o “Solution Viewer”, onde os círculos correspondem aos vértices no TOP e um *screenshot* da aplicação.

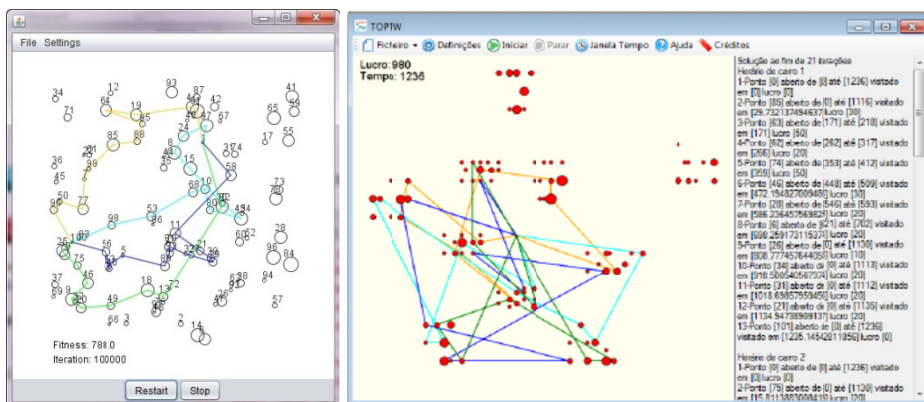


Figura 6 – A "Solution Viewer" representa as rotas durante a resolução da instância do TOP

O algoritmo construtivo do GATOP-2 tem uma abordagem “mais paralela” na construção de rotas. As rotas vão sendo abertas e adicionados novos vértices de um modo simultâneo. O fecho das rotas ocorre no final do algoritmo construtivo. No caso do GATOP-1 uma rota é fechada antes da abertura da rota seguinte.

5. Resultados Computacionais

Realizaram-se uma série de testes computacionais com o intuito de avaliar a performance dos algoritmos apresentados, comprando os resultados obtidos entre eles e também com os valores do estado da arte. Para os testes utilizaram-se 24 instâncias públicas de teste para o TOP, selecionadas aleatoriamente de entre as 320 instâncias publicadas por Chao et al. (1996).

Os resultados obtidos nos testes com os dois algoritmos foram comparados com os melhores resultados encontrados na literatura relativa ao TOP. Os testes foram realizados com recurso a um computador *laptop* com processador Intel Pentium Core2Duo P8700 2.53 GHz 64-bit com 4 GB de memória RAM. Foram efetuadas dez execuções com cada um dos algoritmos em cada instância. Os resultados alcançados constam na Tabela 3, onde o valor na coluna (Avg) corresponde ao valor médio para cada instância após as dez execuções do algoritmo.

Tabela 3 – Resultados obtidos nos testes com GATOP-1 e GATOP-2

Instance	Fitness Level (Score)						BEST SCORE
	GATOP-1			GATOP-2			
	Avg	fmin	fmax	Avvg	fmin	fmax	
p4.2.f	609.6	565	643	662.0	648	684	687
p4.2.o	1004.0	923	1081	1116.7	1048	1178	1218
p4.3.j	764.8	722	818	826.9	790	854	861
p4.3.p	985.7	935	1062	1119.9	1036	1174	1222
p4.4.k	736.7	697	775	794.5	733	821	821
p4.4.r	992.6	922	1054	1139.0	1110	1171	1211
p5.2.p	1066.5	1045	1090	1090.0	1055	1150	1150
p5.2.z	1627.0	1515	1675	1633.0	1595	1660	1680
p5.3.t	1225.0	1205	1245	1242.5	1220	1260	1260
p5.3.y	1500.5	1455	1555	1561.0	1520	1590	1595
p5.4.w	1303.5	1250	1355	1357.0	1310	1380	1390
p5.4.z	1501.0	1460	1535	1525.5	1455	1575	1620
p6.2.l	1093.2	1050	1110	1090.2	1068	1116	1116
p6.2.m	1161.6	1146	1188	1157.4	1134	1176	1188
p6.3.m	1033.8	996	1080	1069.8	1056	1080	1080
p6.3.n	1124.4	1104	1158	1158.6	1146	1170	1170
p6.4.m	885.0	852	906	902.4	888	912	912
p6.4.n	1051.8	1032	1068	1068.0	1068	1068	1068
p7.2.l	711.3	692	722	740.8	692	763	767
p7.2.s	967.1	910	1030	1071.3	991	1110	1136
p7.3.o	766.6	729	808	845.9	812	865	874
p7.3.t	947.8	891	1017	1072.5	1037	1112	1116
p7.4.p	776.7	755	814	820.8	795	844	846
p7.4.s	896.6	855	958	991.6	929	1020	1022

Os valores em (fmin) e (fmax) são respectivamente os valores mínimos e máximos obtidos para cada instância. Na coluna (BEST SCORE) constam os valores máximos atuais para cada instância e que constam na literatura. É de destacar a superior consistência do GATOP-2 face ao GATOP-1, pois existe em média uma menor diferença entre os valores (fmax) e (fmin). Em termos de exactidão, de novo o GATOP-2 mostrou-se superior ao obter uma diferença média de 0.9% em relação aos melhores valores conhecidos para cada instância (BEST SCORE). O algoritmo GATOP-2 conseguiu igualar os melhores resultados em 7 das 24 instâncias, enquanto que o GATOP-1 conseguiu igualar os melhores resultados apenas em 3 instâncias.

6. Conclusões

Ao longo deste artigo foram apresentadas duas ferramentas de software denominadas GATOP 1 e GATOP 2, as quais permitem resolver o problema de orientação de equipas (TOP - Team Orienteering Problem) aplicado ao TNUD através de algoritmos genéticos. Os dois algoritmos genéticos foram testados e analisados num conjunto de 24 instâncias públicas, tendo-se concluído que o desempenho médio do GATOP-2 é claramente melhor do que o de GATOP-1 quando comparados aos melhores valores conhecidos as mesmas instâncias.

No geral, as ferramentas desenvolvidas são intuitivas e de fácil utilização, e permitem resolver com sucesso o TOP. As ferramentas são facilmente integráveis num sistema de apoio à decisão para a organização do transporte não urgente de doentes. Como trabalho futuro pretendemos continuar o estudo do TOP e das suas variantes que consideram janelas temporais para os utentes em função da hora limite a que devem recolhidos para serem transportados até ao seu destino.

Agradecimento

Os autores expressam o seu agradecimento aos quatro revisores anónimos que, com os seus comentários, permitiram melhorar consideravelmente este artigo.

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo projeto GATOP - Genetic Algorithms for Team Orienteering Problem (Ref PTDC/EME-GIN/ 120761/2010), financiado por fundos nacionais pela FCT / MCTES e co-financiado pelo European Social Development Fund (FEDER) através do COMPETE Programa Operacional Fatores de Competitividade (POFC) Ref FCOMP-01-0124-FEDER-020609.

Referências

- ACSS (2014). Acessível em <http://www.acss.min-saude.pt/>
- Archetti, C., Bianchessi, N., & Speranza, M. G. (2013). Optimal solutions for routing problems with profits. *Discrete Applied Mathematics*, 161(4), 547-557.
- Archetti, C., Speranza, M. G., & Vigo, D. (2013). Vehicle routing problems with profits. Tech. Report WPDEM2013/3, University of Brescia.
- ARSN (2011). <http://portal.arsnorte.min-saude.pt/portal/page/portal/ARSNorte>
- Begur, S. V., Miller, D. M., & Weaver, J. R. (1997). An integrated spatial DSS for scheduling and routing home-health-care nurses. *Interfaces*, 27(4), 35-48.
- Berbeglia, G., Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2010). Dynamic pickup and delivery problems. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 8-15.
- Chao, I. M., Golden, B. and Wasil, E. A. (1996) Theory and Methodology - The Team Orienteering Problem. *European J. of Op. Research*, 88, 464-474.
- Cordeau, J. F., & Laporte, G. (2007). The dial-a-ride problem: models and algorithms. *Annals of Operations Research*, 153(1), 29-46.
- Díaz-Parra, O., Ruiz-Vanoye, J. A., Bernábe Loranca, B., Fuentes-Penna, A., & Barrera-Cámara, R. A. (2014). A Survey of Transportation Problems. *Journal of Applied Mathematics*, vol. 2014, Article ID 848129, 17 pages, 2014. doi:10.1155/2014/848129
- DRE (2011). Despacho n.º 16843/2011, Diário da República, 2.ª série — N.º 239 — 15 de Dezembro de 2011, 48767-48768
- DRE (2012a). Portaria n.º 142-A/2012. Diário da República, 1.ª série — N.º 94 — 15 de maio de 2012, 2532-(2)-2532-(3).
- DRE (2012b). Portaria n.º 142-B/2012. Diário da República, 1.ª série — N.º 94 — 15 de maio de 2012, 2532-(3)-2532-(6)
- DRE (2012c). Declaração de Retificação n.º 27-A/2012. Diário da República, 1.ª série — N.º 107 — 1 de junho de 2012, 2928-(2).
- DRE (2012d). Portaria n.º 178-B/2012. Diário da República, 1.ª série — N.º 107 — 1 de junho de 2012, 2928-(2).

- DRE (2012e). Despacho n.º 7702-A/2012. Diário da República, 2.ª série — N.º 108 — 4 de junho de 2012, 20410-(2).
- DRE (2012f). Despacho n.º 7702-C/2012. Diário da República, 2.ª série — N.º 108 — 4 de junho de 2012, 20410-(3)-20410-(6).
- DRE (2012g). Despacho n.º 8705/2012. Diário da República, 2.ª série — N.º 125 — 29 de junho de 2012, 22880- 22881.
- DRE (2012h). Declaração de Retificação n.º 36/2012. Diário da República, 1.ª série — N.º 135 — 13 de julho de 2012, 3657- 3664
- Feuerstein, E., & Stougie, L. (2001). On-line single-server dial-a-ride problems. *Theoretical Computer Science*, 268(1), 91-105.
- Gavalas, D., Konstantopoulos, C., Mastakas, K., & Pantziou, G. (2014). A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems. *Journal of Heuristics*, 20(3), 291-328.
- Gribkovskaia, I., Laporte, G., & Shyshou, A. (2008). The single vehicle routing problem with deliveries and selective pickups. *Computers & Operations Research*, 35(9), 2908-2924.
- Gutiérrez-Jarpa, G., Marianov, V., & Obreque, C. (2009). A single vehicle routing problem with fixed delivery and optional collections. *IIE Transactions*, 41(12), 1067-1079.
- Hains, I. M., Marks, A., Georgiou, A., & Westbrook, J. I. (2011). Non-emergency patient transport: what are the quality and safety issues? A systematic review. *International Journal for Quality in Health Care*, 23(1), 68-75.
- Hauptmeier, D., Krumke, S. O., & Rambau, J. (2000). The online dial-a-ride problem under reasonable load (pp. 125-136). Springer Berlin Heidelberg.
- Hu, Q., & Lim, A. (2014). An iterative three-component heuristic for the team orienteering problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 232(2), 276-286.
- Jaillet, P., & Wagner, M. R. (2008). Online vehicle routing problems: A survey. In *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges* (pp. 221-237). Springer US.
- Madsen, O. B., Ravn, H. F., & Rygaard, J. M. (1995). A heuristic algorithm for a dial-a-ride problem with time windows, multiple capacities, and multiple objectives. *Annals of operations Research*, 60(1), 193-208.
- Morán-Mirabal, L. F., González-Velarde, J. L., & Resende, M. G. C. (2014). Randomized heuristics for the family traveling salesperson problem. *International Transactions in Operational Research*, 21(1), 41-57.
- Psaraftis, H. N. (1988). Dynamic vehicle routing problems. *Vehicle routing: Methods and studies*, 16, 223-248.

- Stiver, H. G., Trosky, S. K., Cote, D. D., & Oruck, J. L. (1982). Self-administration of intravenous antibiotics: an efficient, cost-effective home care program. *Canadian Medical Association Journal*, 127(3), 207.
- The Orienteering Problem: Test Instances. <http://www.mech.kuleuven.be/en/cib/op> (29 maio 2014, último acesso)
- Vaisblat, A., & Albert, D. (2013). Medical non-emergency patient centered scheduling solution. *New Magenta Papers*, 40.
- Vansteenwegen, P., Souffriau, W., & Oudheusden, D. V. (2011). The orienteering problem: A survey. *European Journal of Operational Research*, 209(1), 1-10.

Seguridad y Privacidad en Carpetas Personales de Salud para Android e iOS

Belén Cruz Zapata ¹, Antonio Hernández Niñirola ¹, José Luis Fernández-Alemán ¹, Ambrosio Toval ¹

b.cruzzapata@um.es, antonio.hernandez5@um.es, aleman@um.es, atoval@um.es

¹ Grupo de Investigación de Ingeniería del Software, Departamento de Informática y Sistemas, Facultad de Informática, Universidad de Murcia – Campus de Espinardo, 30100, Murcia, España.

DOI: 10.4304/risti.13.35-50

Resumen: Durante los últimos años, el uso de dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas ha suscitado gran interés entre los proveedores de servicios de salud en el mundo de la mSalud. Las Carpetas Personales de Salud (en inglés Personal Health Record o PHR) móviles proporcionan numerosas ventajas y aunque hay estudios que indican que los pacientes están dispuestos a utilizarlos, los índices de uso son aún bajos. La seguridad y la privacidad han sido identificadas como una importante barrera para lograr su amplia adopción. Haciendo uso de un método adaptado de la revisión sistemática de literatura se identificaron 24 PHRs móviles para Android e iOS. La seguridad y privacidad de estos PHRs móviles fueron evaluadas usando un cuestionario de 12 preguntas. Nuestra investigación muestra que los desarrolladores de PHRs móviles han de mejorar sustancialmente sus políticas de privacidad.

Palabras-clave: mSalud; Carpeta Personal de Salud Móvil; Android; iOS.

Privacy and Security in Mobile Personal Health Records for Android and iOS

Abstract: In the last few years, the increment in use of mobile devices such as smartphones and tablets has caused the interest of health service providers in the world of mHealth. Mobile Personal Health Records (mPHR) lead to a number of benefits and there are studies that notice how patients are willing to use them. However, utilization rates are low. Security and privacy have been identified as important adoption barriers and should therefore be addressed. Using a method similar to the well-known Systematic Literature Review, 24 mPHRs for Android and iOS were identified. The security and privacy of the mPHRs were evaluated through a questionnaire containing 12 questions. Our research shows that mPHRs developers should improve significantly their privacy policies.

Keywords: mHealth; Mobile Personal Health Records; Android; iOS.

1. Introducción

El uso de Internet para acceder información médica es un fenómeno relativamente reciente y se conoce como eSalud (Oh, Rizo, Enkin, & Jadad, 2005). Los pacientes son más conscientes y tienen un rol más activo en la gestión de su información médica (Van De Belt, Engelen, Berben, & Schoonhoven, 2010). Tanto es así, que un cinco por ciento de las búsquedas registradas en Google están relacionadas con el mundo de la salud (Eysenbach & Köhler, 2004). Existen estudios que afirman que los pacientes están dispuestos a utilizar Carpetas Personal de Salud (en inglés Personal Health Records o PHRs) y que los profesionales de la medicina valoran y recomiendan el uso de estos programas (Huba & Zhang, 2012) (Fernández Alemán, Hernández, & Sánchez García, 2013). Los PHRs son aplicaciones que permiten a un individuo acceder, modificar y compartir su información médica (Kaelber & Pan, 2008) (Carrion, Fernandez Aleman, & Toval, 2012).

Los PHRs están disponibles en distintos formatos: USB, aplicaciones para PC, aplicaciones web, entre otros (World Health Organization, 2011). Con la gran evolución del mercado de aplicaciones móviles, las aplicaciones médicas en general (mSalud) y los PHRs en particular, han llegado al mundo móvil (World Health Organization, 2011). El informe del Mercado de Salud Móvil (Mobile Health Market Report) de 2013-2017 calcula que habrá más de 500 millones de usuarios de aplicaciones de mSalud en 2015 (Jahns & Houck, 2013). Los PHRs móviles (mPHRs) permiten a los pacientes acceder a su información médica en cualquier momento y en cualquier lugar (Kharrazi, Chisholm, VanNasdale, & Thompson, 2012).

A pesar de la buena predisposición de los consumidores hacia los mPHRs, existe aún una baja tasa de utilización (Fernández Alemán et al., 2013)(Archer, Fevrier-Thomas, Lokker, McKibbin, & Straus, 2011). Se han identificado en la literatura numerosas barreras en la adopción de los PHRs: usabilidad, conflictos culturales, problemas legales y preocupación por la privacidad y seguridad (Liu, Shih, & Hayes, 2011; Lober et al., 2006; Tang, Ash, Bates, Overhage, & Sands, 2006). Un estudio norteamericano de 2003 realizado a 1.246 consumidores, indica que la preocupación por mantener la privacidad y seguridad de la información personal de salud aparece en un 91% de los encuestados (Markle Foundation, 2003). Un 25% de los participantes indicaron incluso que dejarían de utilizar el PHR si existieran problemas con la privacidad. Aun así, la mayoría de encuestados creen que la tecnología proporciona medidas de seguridad apropiadas para mantener su información clínica segura. El objetivo de nuestro trabajo es analizar las características de seguridad y privacidad que tienen los actuales mPHRs. Para alcanzar este objetivo, se ha realizado un análisis de las políticas de privacidad de 24 mPHRs.

El artículo se organiza de la siguiente forma: en la Sección 2 se describe la metodología empleada en el proceso de evaluación de las políticas de privacidad de los mPHRs. En la Sección 3 se exponen los resultados obtenidos y se describen las características principales de las políticas de privacidad evaluadas. En la Sección 4 se discuten los hallazgos principales del estudio. Por último, en la Sección 5 se sintetizan las conclusiones y se describen trabajos futuros.

2. Metodología

La búsqueda de mPHRs se realizó mediante la adaptación para aplicaciones móviles del proceso de revisión sistemática de la literatura aplicado en Ingeniería del Software (Brereton, Kitchenham, Budgen, Turner, & Khalil, 2007). Una revisión sistemática de la literatura permite identificar, evaluar, interpretar y sintetizar todos los aspectos relevantes de un tema de interés concreto (Pino, García, & Piattini, 2006). El proceso utiliza métodos formales para asegurar la efectividad y la imparcialidad de los resultados obtenidos. También se siguieron las directrices presentadas en el informe PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis) (Moher, Liberati, Tetzlaff, & Altman, 2009). El método fue desarrollado previamente al inicio de las tareas de búsqueda e incluye los criterios de elegibilidad, las fuentes de información y describe los procesos de selección de aplicaciones y de extracción y recolección de datos.

2.1. Criterios de Elegibilidad

En esta sección se presentan los Criterios de Inclusión (CI) y los Criterios de Exclusión (EC). Para que una aplicación sea seleccionada, ésta ha de cumplir todos y cada uno de los Criterios de Inclusión.

- CI1: mPHRs de carácter general: no centradas en alguna condición de salud concreta como por ejemplo diabetes o embarazo.
- CI2: mPHRs que están disponibles de manera gratuita.
- CI3: mPHRs que han sido actualizados posteriormente al 1 de enero de 2013.

Las aplicaciones que cumplieron con al menos uno de los siguientes Criterios de Exclusión fueron descartadas.

- CE1: mPHRs que al ser evaluados presentan errores de instalación o de tiempo de ejecución que no permiten la correcta evaluación de la aplicación.
- CE2: mPHRs que dependen completamente de un servicio externo (de pago o gratuito) y no pueden ser evaluadas independientemente como aplicaciones móviles sino como conjunto de servicios.

2.2. Fuentes y Cadena de Búsqueda

Nuestra investigación se centró en aplicaciones para las dos plataformas móviles más extendidas actualmente: Android e iOS. Las aplicaciones disponibles para iOS se encuentran centralizadas en el repositorio de Apple oficial App Store. Para Android existen otros repositorios además de Google Play, repositorio oficial de aplicaciones de Google para Android, como Amazon Appstore. Se optó por elegir como fuentes de información los repositorios oficiales: Google Play para Android y App Store para iOS. Estos dos repositorios son líderes mundiales tanto en número de aplicaciones disponibles como en número de descargas. Si nos centramos en aplicaciones bajo la categoría de Salud, ambos repositorios tienen un gran repertorio de aplicaciones: existen alrededor de 20.000 aplicaciones médicas en la App Store y más de 8.000 en Google Play (Aungst, 2013).

Ambos repositorios tienen disponibles motores de búsqueda que fueron empleados para el proceso de búsqueda de las aplicaciones. La cadena de búsqueda se elaboró haciendo uso de los criterios PICO (Stone, 2002): “PHR” O “Personal Health Record”.

2.3. Selección de los mPHRs

El proceso de selección de mPHRs se llevó a cabo siguiendo las siguientes fases:

- 1) El uso de la cadena de búsqueda previamente definida en los motores de búsqueda de los repositorios App Store de Apple y Google Play de Google.
- 2) La exploración manual de la información disponible en la descripción de los mPHRs en los repositorios para aplicar los Criterios de Inclusión.
- 3) La exploración manual de la información disponible en la descripción de los mPHRs en los repositorios y de los mPHRs en sí para aplicar los Criterios de Exclusión.
- 4) La exploración manual de los mPHRs, de la información disponible en la descripción de los mPHRs en los repositorios y en algunos casos de las páginas web de las aplicaciones o de los desarrolladores para identificar las políticas de privacidad de cada mPHR.
- 5) Lectura completa de cada política de privacidad, extracción y recolección manual de las características de seguridad evaluadas.

2.4. Proceso de Extracción y Recolección de la Información

Cada mPHR fue evaluado de manera independiente por dos de los autores del estudio. Las discrepancias fueron resueltas mediante discusión entre los mismos dos autores. El proceso de extracción y recolección de la información fue realizado haciendo uso de formularios de extracción de datos presentados en forma de hojas de cálculo.

2.5. Evaluación de calidad

La evaluación de los mPHRs se llevó a cabo a través del uso de un cuestionario de doce cuestiones definidas por los autores disponible en la Tabla 1. La estructuración del cuestionario está basada en los Principios de Buenas Prácticas de la Información (Fair Information Practice Principles, FIPPs) de la Comisión General de Comercio de EEUU (Federal Trade Commission, FTC). Estos principios son internacionalmente aceptados y ampliamente usados en la creación de políticas de privacidad, estando además centrados en la recolección de datos de los usuarios (Wu, Huang, Yen, & Popova, 2012). Se establecen cinco principios: notificación, elección, acceso, seguridad y ejecución. Notificación, es el principio fundamental por el que el usuario debe ser informado de las prácticas que va a realizar la empresa con su información personal antes de que ésta sea registrada; Elección, el usuario debe conocer las opciones sobre cómo va a ser usada su información, si la información va a ser revelada a una tercera entidad y bajo qué condiciones; Acceso, el usuario debe poder acceder a sus datos para modificarlos o eliminarlos; Seguridad, los datos del usuario y su integridad debe ser protegida; Ejecución, consiste en las acciones legales a seguir si la política de privacidad es violada. El último principio sobre ejecución queda fuera del ámbito de nuestro análisis.

Cada respuesta está asociada con una puntuación: S (Sí) = 2, P (Parcialmente) = 1, - (No Procede) = 0, N (No) = 0. El proceso de evaluación fue realizado

independientemente por dos de los autores haciendo uso de hojas de cálculo. Las diferencias fueron discutidas hasta alcanzar un acuerdo entre los propios autores. Para medir el nivel de acuerdo se ha usado el índice Kappa de Cohen (Landis & Koch, 1977), el cual es una medida estadística para evaluar la concordancia entre observadores de variables cualitativas. El índice obtenido es de 0.9717 lo cual indica un grado de concordancia muy alto.

Tabla 1. Cuestionario de evaluación de las políticas de privacidad

Notificación	
C1	<i>¿Es la política de privacidad fácilmente accesible?</i> S (Sí), la política de privacidad está disponible desde el propio mPHR; P (Parcialmente), la política de privacidad está disponible en la descripción del mPHR en el repositorio, en la página web del mPHR o en la página web del desarrollador; N (No), la política de privacidad no está disponible.
C2	<i>¿Son los cambios en la política de privacidad notificados al usuario?</i> S (Sí), los cambios en la política de privacidad son notificados cuando el usuario utiliza el mPHR por primera vez después de que se hayan producido los cambios; P (Parcialmente), los cambios se notifican mediante una actualización en la propia política de privacidad, incluyendo la fecha del cambio; N (No), los cambios en la política de privacidad se producen sin notificación alguna.
C3	<i>¿Se informa al usuario del uso de Cookies, servicios de análisis de datos, servicios de geo-localización o almacenamiento de IPs?</i> S (Sí), se informa al usuario del uso de Cookies, servicios de análisis de datos, servicios de geo-localización o almacenamiento de IPs; N (No), no se hace uso de Cookies, servicios de análisis de datos, servicios de geo-localización ni almacenamiento de IPs.
C4	<i>¿Sigue el mPHR algún estándar o recomendación de seguridad?</i> S (Sí), el mPHR cumple con algún estándar o recomendación de seguridad; N (No), el mPHR no cumple con ningún estándar.
Elección	
C5	<i>¿Existe algún mecanismo de acceso a los datos en caso de emergencia médica?</i> S (Sí), existe un mecanismo de acceso a los datos del paciente en caso de emergencia; N (No), no existe mecanismo de acceso a los datos del paciente en caso de emergencia.
C6	<i>Si el mPHR permite conexión con otros PHRs o EHRs, ¿se explicita las condiciones de dicha conexión?</i> S (Sí), el mPHR permite la conexión con otros PHRs o EHRs y se explicita cómo se realiza y asegura la comunicación; N (No), el mPHR permite la conexión con otros PHRs o EHRs pero no se explicita cómo se realiza y asegura la comunicación; - (No Procede), el mPHR no permite la conexión con otros PHRs ni con EHRs.

Acceso

C7 *Si el mPHR permite múltiples usuarios, ¿se puede conceder y revocar acceso a otros usuarios? ¿Qué tipos de accesos permite?*

S (Sí), el mPHR permite múltiples usuarios y permite conceder y revocar acceso a datos de otros usuarios de sólo lectura y de lectura-escritura; P (Parcialmente), el mPHR permite múltiples usuarios y permite conceder y revocar acceso a datos de otros usuarios pero no permite especificar qué tipo de acceso; N (No), el mPHR permite múltiples usuarios pero no permite conceder y revocar acceso a datos de otros usuarios; - (No Procede), el mPHR no permite múltiples usuarios.

Seguridad

C8 *¿Utiliza el mPHR un mecanismo de autenticación fuerte?*

S (Sí), el proceso de autenticación está basado en dos o más de los siguientes elementos: 1) algo que el usuario conoce (ej. usuario y contraseña), 2) algo que el usuario posee (ej. tarjeta de autenticación) y 3) algo que el usuario es (ej. biometría); P (Parcialmente), el proceso de autenticación está basado en solamente uno de los elementos citados anteriormente; N (No), no existe proceso de autenticación.

C9 *Si se almacenan datos localmente, ¿están encriptados? ¿Qué mecanismo de encriptación se utiliza?*

S (Sí), existen datos almacenados localmente y se explicita cómo están encriptados; P (Parcialmente), existen datos almacenados localmente y los datos están encriptados, pero no se explicita cómo están encriptados; N (No), existen datos almacenados localmente pero no son encriptados; - (No procede), no existen datos almacenados localmente.

C10 *Si se transfieren datos online, ¿están encriptados? ¿Qué mecanismo de encriptación se utiliza? ¿Qué protocolo de comunicación segura utiliza?*

S (Sí), existen transferencias de datos y se explicita cómo son encriptados y cuál es el protocolo de comunicación; P (Parcialmente), existen transferencias de datos y los datos son encriptados, pero no se explicita cómo o cuál es el protocolo de comunicación; N (No), existen transferencias de datos pero no son encriptados; - (No Procede), no se transmiten datos.

C11 *Si se almacenan datos en la nube, ¿están encriptados? ¿Qué mecanismo de encriptación se utiliza? ¿Se explicita si hay control de acceso, auditoría y la protección física de los servidores?*

S (Sí), existen datos almacenados en la nube y se explicita cómo están encriptados y las medidas de seguridad que se toman para garantizar la integridad y seguridad de los servidores; P (Parcialmente), existen datos almacenados en la nube y los datos están encriptados, pero no se explicita cómo están encriptados ni las medidas de seguridad que se toman para garantizar la integridad y seguridad de los servidores; N (No), existen datos almacenados en la nube pero no están encriptados; - (No Procede), no existen datos almacenados en la nube.

C12 *Si el mPHR permite la creación de copias de seguridad, ¿cómo se garantiza la seguridad sobre dicha copia?*

S (Sí), el mPHR permite la creación de copias de seguridad y éstas son protegidas; N (No), el mPHR permite la creación de copias de seguridad pero no se protegen; - (No Procede), el mPHR no permite la creación de copias de seguridad.

3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos. La primera sección presenta los resultados obtenidos en el proceso de búsqueda y selección de los mPHRs. En la segunda sección están disponibles las características más relevantes de las políticas de seguridad extraídas a través la evaluación de los mPHRs seleccionados.

3.1. Selección de los mPHRs

La búsqueda de los repositorios de aplicaciones seleccionados generó un total de 203 aplicaciones posibles. Un total de 139 aplicaciones fueron descartadas por no cumplir el CI1, trece fueron descartadas por no cumplir el CI2 y dieciséis por no cumplir el CI3. Finalmente se aplicaron los Criterios de Exclusión: 6 mPHRs fueron excluidos por cumplir el EC1 y otros 5 por cumplir el EC2. Al final, 24 mPHRs fueron seleccionados y sus características de privacidad y seguridad fueron evaluadas. El proceso completo resumido puede ser consultado en el diagrama de flujo PRISMA en la Figura 1.

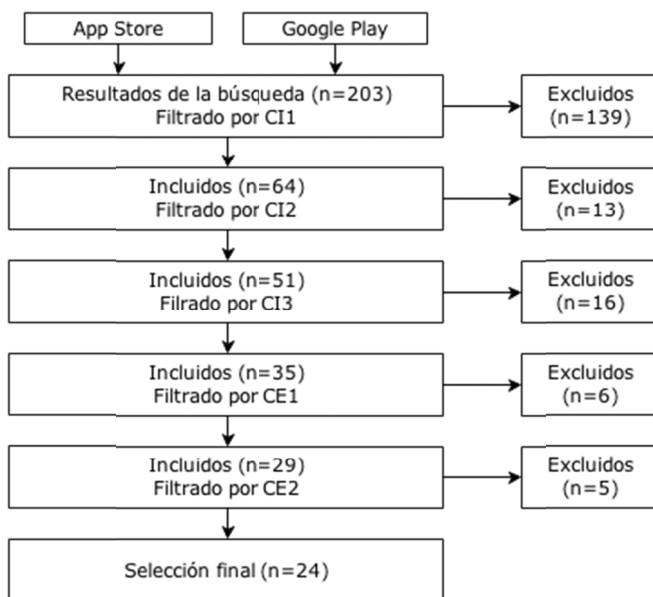


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA

3.2. Características de los mPHRs

Para identificar las características más relevantes de las políticas de seguridad analizadas se aplicó el cuestionario de 12 preguntas previamente desarrollado a las políticas de privacidad de los mPHRs seleccionados. Los resultados para cada cuestión del cuestionario así como la puntuación total obtenida pueden ser consultados en la Tabla 2.

Notificación

La primera característica a evaluar fue si la política de privacidad está disponible de manera rápida y sencilla para los usuarios del mPHR. Tres de los 24 mPHRs evaluados (*CareFlow PHR*, *MyWellness App* y *Personal Health Record – Lite*) no tienen política de privacidad. En el caso de la aplicación *CareFlowPHR*, se indica una URL para consultar la política, pero este sitio web no existe. De forma similar, la aplicación *MyWellnessApp* informa que la política de privacidad se encuentra en su página web oficial, pero en ésta realmente no puede ser encontrada. Otros dos mPHRs (*EasyMed*

Medical Passport para Android e iOS) no tienen la política de privacidad disponible directamente desde la aplicación y hay que visitar la página web del desarrollador.

Tabla 2. Evaluación de las políticas de privacidad de los mPHRs seleccionados

mPHR	OS	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	T
CareFlowPHR	And	N	-	-	-	-	-	N	P	-	-	-	-	1
CareSync	iOS	S	P	S	N	N	-	P	P	P	P	P	-	10
EasyMed Medical Passport	iOS	P	N	S	N	N	-	N	P	-	N	S	-	6
EasyMed Medical Passport	And	P	N	S	N	N	-	N	P	-	N	S	-	6
Health Companion	iOS	S	P	S	N	N	-	N	P	-	P	N	-	7
Health suite	And	S	N	S	N	N	-	-	N	N	-	-	-	4
Health2me	iOS	S	P	S	N	N	-	N	P	-	N	N	-	6
Health2me	And	S	P	S	N	N	-	N	P	-	N	N	-	6
HealthStylus	iOS	S	N	N	N	N	-	N	P	N	P	P	-	5
HealthStylus	And	S	N	N	N	N	-	N	P	N	P	P	-	5
iBlueButton	iOS	S	P	S	N	N	-	-	P	P	P	-	-	8
iTriage Health	And	S	P	S	S	N	S	N	P	-	N	P	-	11
iTriage Health	iOS	S	P	S	S	N	S	N	P	-	N	P	-	11
LifeCard Health Record	iOS	S	S	S	N	N	-	N	P	N	N	P	-	8
MTBC PHR	And	S	P	S	N	S	-	N	P	P	S	S	-	13
MTBC PHR	iOS	S	P	S	N	S	-	N	P	P	S	S	-	13
My Health Diary	And	S	P	S	N	N	-	N	P	-	P	P	-	8
MyClinicNotes	iOS	S	P	S	N	N	-	N	P	-	S	P	-	9
MyMx Personal Health Record	iOS	S	P	N	N	N	-	-	N	P	P	S	-	7
MyWellnessApp	iOS	N	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	0
OnPatient Medical Record PHR	And	S	P	N	S	N	-	N	P	-	N	P	-	7
OnPatient Personal Health Record	iOS	S	P	N	S	N	-	N	P	-	N	P	-	7
Personal Health Record – Lite	iOS	N	-	-	-	-	-	-	N	-	-	-	-	0
Track My Medical Records	And	P	N	N	N	N	-	N	P	-	S	P	-	5
Total		39	16	30	8	4	4	1	20	5	15	21	0	163

Los cambios en la política de privacidad son notificados al usuario a través de la aplicación en sólo un caso: *LifeCard Health Record*. El 65% de los mPHRs informan al usuario de los cambios mediante una actualización de la fecha del último cambio de la política.

El uso de cookies, servicios de análisis de datos, servicios de geo-localización y de almacenamiento son notificados en la política de privacidad en quince de los mPHRs evaluados: 13 de ellos realizan análisis de datos sobre el tipo de dispositivo y el uso del servicio, 8 mPHRs avisan sobre la utilización de cookies, 7 registran la dirección IP y 2 obtienen la localización del dispositivo. Estos dos últimos mPHRs, *iTriage Health* para Android y para iOS, justifican la extracción de la localización para ofrecer servicios y contenidos adaptados a ésta. Respecto a los estándares y recomendaciones, únicamente cuatro (16,66%) cumplen con el acta americana HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act).

Elección

El acceso a datos en caso de emergencia se permite únicamente en *MTBC PHR* para Android e iOS. En dicha política de privacidad se indica explícitamente el acceso a los datos a familiares o amigos autorizados en casos de un riesgo inminente a la salud del paciente, o a especialistas médicos capaces de solventar o mitigar posibles problemas en casos de salud pública.

La comunicación con otros servicios similares de carpetas personales de salud sólo se produce en dos mPHRs del mismo desarrollador: *iTriage Health* para iOS y Android. Esta aplicación permite la sincronización de ciertos datos con *Microsoft HealthVault* ("Microsoft HealthVault," n.d.) o con *MyActiveHealth* ("MyActiveHealth," n.d.). En ambos casos se explicita en la política de privacidad que la comunicación se realiza de forma segura.

Acceso

El 79,16% (19 de 24) de los mPHRs analizados permiten múltiples usuarios, pero excepto uno, no es posible la conexión entre ellos ni el acceso a datos ajenos. *CareSync* es el único mPHR que permite otorgar y revocar el acceso a datos de otros usuarios. Sin embargo, no se puede especificar qué tipo de acceso (sólo lectura, sólo escritura, lectura/escritura, etc.).

Seguridad

El método de autenticación más extendido es el tradicional formado por usuario y contraseña (19 de 24 mPHRs). Sólo *Health Companion* emplea un sistema diferente basado en un código PIN de 4 cifras. *Health Suite*, *MyMx PHR*, *MyWellnessApp* y *Personal Health Record – Lite* no tienen ningún método de autenticación propio.

Sólo 9 aplicaciones almacenan datos localmente en el dispositivo móvil, el resto requieren de conexión a internet y transfieren los datos desde el servidor cada vez que el usuario quiere consultarlos. En cinco de las nueve políticas de privacidad de los mPHRs que almacenan datos localmente se especifica que los datos se guardan de forma segura. Las otras cuatro no dicen nada al respecto.

MyClinicNotes, Track My Medical Records y MTBC PHR para iOS y Android son las únicas aplicaciones que garantizan la seguridad en las transferencias de datos entre cliente y servidor e indican cómo se protege dicha conexión. En estos mPHRs, el método de protección de la comunicación empleado es SSL. Además, MTBC PHR indica que los datos se protegen con un método de encriptación de 128-bits de VeriSign. Otros cinco mPHRs indican que la comunicación entre cliente y servidor es segura pero no se especifica el método por el cual está protegido.

En cuanto a la información almacenada en la nube, cinco (20,83%) mPHRs no hacen uso de este servicio por lo que dependen de las copias de seguridad manuales del usuario para salvaguardar los datos. En los casos en los que sí se utiliza un servicio de almacenamiento online, cinco mPHRs indican que la integridad y seguridad de los servidores está garantizada mediante los mecanismos necesarios aportados por una empresa especialista externa. En otros 11 casos, simplemente se indica que la información está protegida pero no se especifica cómo.

Ninguno de los mPHRs estudiados permite realizar copias de seguridad. Técnicamente, aquellos mPHRs que almacenan datos localmente pueden hacer de una copia de seguridad de la información que contiene el dispositivo, mediante métodos como sincronización con iTunes o iCloud en el caso de iOS, o a través de alguna de las múltiples aplicaciones de copias de seguridad en Android.

4. Discusión

En esta sección se resumen y discuten las características de las políticas de privacidad de los mPHRs.

Notificación

Casi todos los mPHRs estudiados ofrecen un fácil acceso a su política de privacidad, estando ésta en la propia aplicación móvil. El usuario debería siempre poder acceder a la política de privacidad (Directive 2002/58/EC of the European Parliament and of the Council of 12 July 2002 concerning the processing of personal data and the protection of privacy in the electronic communications sector, 2002). La opción más común es mostrar la política de privacidad en el momento en que el usuario realiza el proceso de registro, de forma que debe ser aceptada para poder completar el registro. Además, dada la importancia de la política de privacidad, los cambios realizados sobre ésta deben ser notificados al usuario (Carrión Señor, Fernández-Alemán, & Toval, 2012).

En las tecnologías web y móviles, es posible registrar información complementaria que no es proporcionada directamente por el usuario: tipo de dispositivo, sistema operativo, navegador web, dirección IP, tiempo permanecido en una página, historial de navegación en la aplicación, etc. Investigaciones realizadas entre 1998 y 2003 reflejan que el 62% de los usuarios se muestran preocupados por el hecho de que su actividad en Internet sea monitorizada (Kobsa, 2007). La utilización de cookies, además de aumentar la preocupación de los usuarios, puede suponer una vulnerabilidad de seguridad. Cuando las cookies son creadas para recordar los datos de acceso del usuario, un atacante podría interceptar esta información y acceder a la cuenta del usuario. Es importante por ello asegurar que las cookies de sesión sean

difícilmente predecibles, establecer límites de tiempo, no crear cookies persistentes o utilizar SSL para su envío (Palmer, 2007).

Elección

Las carpetas personales de salud cuentan con un problema inherente que es el acceso a los datos en casos de emergencia, es decir, cuando el usuario no puede acceder u otorgar acceso a otros usuarios. Pueden aparecer dos escenarios (van der Linden, Kalra, Hasman, & Talmon, 2009): consentimiento explícito, que significa que el usuario consiente las reglas de acceso establecidas en el caso de emergencia a menos que indique lo contrario; consentimiento implícito, que significa que el usuario prohíbe el acceso a menos que él lo conceda.

Añadir accesos en caso de emergencia añade un nivel extra de complejidad al proceso de autenticación e incrementa el riesgo de la integridad de los datos (van der Linden et al., 2009). Por otro lado, existen estudios que afirman que no todos los usuarios son propensos a compartir su información médica en casos de emergencia. Los pacientes con una salud buena o excelente están menos dispuestos a compartir sus datos en caso de una situación de este tipo (Weitzman, Kaci, & Mandl, 2010).

Acceso

De los mPHRs evaluados, solo uno contaba con un sistema para otorgar y revocar permisos de acceso a otros usuarios. Este sistema es bastante básico ya que no cuenta con funcionalidades más elaboradas presentes en otros PHRs para web o escritorio (Carrión Señor et al., 2012): distintos permisos sobre los datos (sólo lectura, lectura/escritura, modificación, etc.), permisos para acceder ciertos datos en concreto, registros de quién y cuándo ha accedido qué información, etc. Para cumplir las recomendaciones internacionales, tanto HIPAA como ISO 13606, es imprescindible que se notifique a los usuarios cómo se ha compartido su información médica (International Organization for Standardization, 2011; US Department of Health and Human Services, Office for Civil Rights, 2008).

Seguridad

Los mecanismos de autenticación son necesarios para evitar accesos no autorizados a la información del usuario. Ninguno de los mPHRs hace uso de un mecanismo de autenticación fuerte. Más del 80% de los mPHRs estudiados usa un mecanismo de autenticación compuesto únicamente de algo que el usuario conoce: la combinación de su nombre de usuario y contraseña. La información relativa a la salud requiere mecanismos de autenticación más seguros (Al-Nayadi & Abawajy, 2007). Si bien es cierto que los usuarios se muestran preocupados sobre la seguridad y privacidad, también buscan mecanismos de autenticación más sencillos, como es el caso de técnicas biométricas (Rodrigues & Santos, 2013). Los métodos de autenticación biométricos analizan las huellas dactilares, la voz o la retina del usuario (Zuniga, Win, & Susilo, 2010).

Catorce (58.33%) de los mPHRs son parte de un PHR perteneciente al ámbito web, pudiendo el usuario acceder a su información tanto desde el sitio web, como desde la aplicación móvil. La información de salud del usuario se almacena en servidores externos y no en el propio dispositivo móvil. El almacenamiento local de los datos se

puede producir de forma temporal si en ese momento, el dispositivo carece de conexión a la red. Cuando la información procede de varias fuentes, surgen más riesgos para la seguridad y privacidad de la información (Carrión Señor et al., 2012), pues se amplía el número de puntos de ataque y su variedad. Además, cuando la información de un PHR es almacenada en la nube, los usuarios pierden el control físico de sus datos y aumenta su desconfianza. Aunque muchos desarrolladores de mPHRs delegan en una empresa externa especializada en ofrecer este tipo de servicios, como *HOST* o *Amazon Web Services*, se debe cumplir la legislación sobre protección de datos vigente en cada país (Fernández-Alemán, Señor, Lozoya, & Toval, 2013). Es indispensable asegurar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información de salud (Li, Yu, Ren, & Lou, 2010). Entre los mPHRs que indican qué método utilizan para garantizar la seguridad en las transferencias de datos entre cliente y servidor, el protocolo criptográfico SSL es el más extendido utilizándose en cuatro de cinco casos. SSL evita ataques del tipo intermediario (del término inglés *Man-in-the-Middle*), por el cual un atacante podría acceder a la información del usuario cuando ésta es transferida. Cuando la información se almacena localmente, y es el propio usuario quien gestiona las copias de seguridad, los mecanismos de sincronización y de copia de seguridad no siempre cifran los datos, y aunque lo hagan como es el caso de iCloud de iOS, pueden aparecer vulnerabilidades (Cliff Saran, 2014). Por tanto, medidas adicionales por parte de los desarrolladores de las aplicaciones son recomendables para garantizar la seguridad de los datos en las copias de seguridad.

4.1. Comparativa entre mPHRs y PHRs web

En un artículo reciente, se evaluaron las políticas de privacidad de 24 herramientas PHRs para web gratuitas (Carrión Señor et al., 2012). Si comparamos los resultados obtenidos en el presente estudio sobre mPHRs con los obtenidos para PHRs web, podemos afirmar que las políticas de privacidad en los mPHRs son menos rigurosas y más incompletas que en los PHRs web. En un 63% de los PHRs web analizados, se tuvieron en cuenta las regulaciones, recomendaciones o principios de seguridad, frente al 16% encontrado en los mPHRs. Además, el 71% de los PHRs web permite conceder y revocar permisos de acceso mientras que sólo un 4% de los mPHRs ofrece esta funcionalidad. Si nos centramos en aspectos de seguridad, obtenemos evidencia en el mismo sentido: los PHRs web son más seguros que los mPHRs. Un 63% de los PHRs web indica las medidas de seguridad físicas que utiliza, frente a un 20% en los mPHRs. Además, un 67% de los PHRs web indica las medidas de seguridad durante la transferencia de datos en línea, mientras que entre los mPHRs esto sólo sucede en un 16% de los casos.

5. Conclusiones

Las políticas de privacidad de los mPHRs son en general menos rigurosas y completas que las equivalentes para web o escritorio. La funcionalidad de las aplicaciones en materia de privacidad y seguridad también se encuentra menos desarrollada. Aunque las políticas de privacidad suelen estar disponibles de forma rápida y sencilla para el usuario, los cambios en estas políticas no suelen ser notificados y es el usuario el que debe estar atento ante posibles actualizaciones. En materia de elección, los usuarios están más restringidos al ser aplicaciones relativamente simples que no permiten en

general compartir información con familiares o profesionales de la salud. La integración con otros sistemas de información de salud externos como otros PHRs o EHRs también es escasa. La estructura y el contenido de las políticas de privacidad deben ser renovados para incluir información más detallada sobre medidas de seguridad cuando los datos se almacenan localmente, son transferidos por la red o se almacenan en servidores remotos.

Las características identificadas en este artículo y el cuestionario de 12 preguntas desarrollado pueden ser utilizadas por usuarios de mPHRs, profesionales de la salud y desarrolladores de aplicaciones móviles para evaluar sus aplicaciones en cuestión de privacidad y seguridad.

Referencias bibliográficas

- Al-Nayadi, F., & Abawajy, J. H. (2007). An Authentication Framework for e-Health Systems. In *2007 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology* (pp. 616–620).
- Archer, N., Fevrier-Thomas, U., Lokker, C., McKibbin, K. A., & Straus, S. E. (2011). Personal health records: a scoping review. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 18(4), 515–522.
- Aungst, T. (2013, July 12). Apple app store still leads Android in total number of medical apps. *iMedicalApps*. Retrieved October 17, 2013, from <http://www.imedicalapps.com/2013/07/apple-android-medical-app/>
- Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., & Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, 80(4), 571–583.
- Carrion, I., Fernandez Aleman, J., & Toval, A. (2012). Personal Health Records: New Means to Safely Handle our Health Data? *Computer*, 45(11), 77–33.
- Carrión Señor, I., Fernández-Alemán, J. L., & Toval, A. (2012). Are Personal Health Records Safe? A Review of Free Web-Accessible Personal Health Record Privacy Policies. *Journal of Medical Internet Research*, 14(4), e114.
- Cliff Saran. (2014, February 24). Apple users at risk of SSL man-in-the-middle attacks. Retrieved July 4, 2014, from <http://www.computerweekly.com/news/2240214897/Apple-users-at-risk-of-SSL-man-in-the-middle-attack>
- Directive 2002/58/EC of the European Parliament and of the Council of 12 July 2002 concerning the processing of personal data and the protection of privacy in the electronic communications sector, § Official Journal of the European Communities (2002). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:201:0037:0047:en:PDF>
- Eysenbach, G., & Köhler, C. (2004). Health-related searches on the Internet. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 291(24), 2946. doi:10.1001/jama.291.24.2946

- Fernández Alemán, J. L., Hernández, I., & Sánchez García, A. B. (2013). Opinion survey on the use of personal health records in the Region of Murcia (Spain). *Gaceta sanitaria / S.E.S.P.A.S*, 27(5), 454–458.
- Fernández-Alemán, J. L., Señor, I. C., Lozoya, P. Á. O., & Toval, A. (2013). Security and privacy in electronic health records: a systematic literature review. *Journal of Biomedical Informatics*, 46(3), 541–562.
- Huba, N., & Zhang, Y. (2012). Designing patient-centered personal health records (PHRs): health care professionals' perspective on patient-generated data. *Journal of Medical Systems*, 36(6), 3893–3905.
- International Organization for Standardization. (2011). *ISO/TS 13606-4:2009: Health informatics -- Electronic Health Record Communication -- Part 4: Security*. Retrieved from http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50121
- Jahns, R.-G., & Houck, P. (2013). Mobile Health Market Report 2013-2017. Retrieved November 23, 2013, from <http://www.research2guidance.com/shop/index.php/mobile-health-trends-and-figures-2013-2017>
- Kaelber, D., & Pan, E. C. (2008). The Value of Personal Health Record (PHR) Systems. *AMIA Annual Symposium Proceedings*, 2008, 343–347.
- Kharrazi, H., Chisholm, R., VanNasdale, D., & Thompson, B. (2012). Mobile personal health records: An evaluation of features and functionality. *International Journal of Medical Informatics*, 81(9), 579–593.
- Kobsa, A. (2007). The Adaptive Web. In P. Brusilovsky, A. Kobsa, & W. Nejdl (Eds.), (pp. 628–670). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- Li, M., Yu, S., Ren, K., & Lou, W. (2010). Securing Personal Health Records in Cloud Computing: Patient-Centric and Fine-Grained Data Access Control in Multi-owner Settings. In S. Jajodia & J. Zhou (Eds.), *Security and Privacy in Communication Networks* (pp. 89–106). Springer Berlin Heidelberg.
- Liu, L. S., Shih, P. C., & Hayes, G. R. (2011). Barriers to the Adoption and Use of Personal Health Record Systems. In *Proceedings of the 2011 iConference* (pp. 363–370). New York, NY, USA: ACM.
- Lober, W., Zierler, B., Herbaugh, A., Shinstrom, S., Stolyar, A., Kim, E., & Kim, Y. (2006). Barriers to the use of a Personal Health Record by an Elderly Population. *Proceedings of the AMIA Annual Symposium*, 2006, 514–518.
- Markle Foundation. (2003). *Connecting For Health: The Personal Health Working Group Final Report*. New York, NY. Retrieved from <http://www.policyarchive.org/handle/10207/bitstreams/15473.pdf>

- Microsoft HealthVault. (n.d.). *Microsoft HealthVault*. Retrieved April 3, 2014, from <http://www.healthvault.com>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264–269.
- MyActiveHealth. (n.d.). *MyActiveHealth*. Retrieved April 3, 2014, from <http://www.myactivehealth.com>
- Oh, H., Rizo, C., Enkin, M., & Jadad, A. (2005). What is eHealth (3): a systematic review of published definitions. *Journal of Medical Internet Research*, 7(1), e1.
- Palmer, S. (2007). *Web Application Vulnerabilities: Detect, Exploit, Prevent*. Syngress Publishing.
- Pino, F. J., García, F., & Piattini, M. (2006). Revisión Sistemática de Mejora de Procesos Software en Micro, Pequeñas y Medianas Empresas. *Revista Española de Innovación, Calidad E Ingeniería Del Software*, 2(001), 6–23.
- Rodrigues, P., & Santos, H. (2013). Health users' perception of biometric authentication technologies. In *Proceedings of the IEEE 26th International Symposium on Computer-Based Medical Systems* (pp. 320–325).
- Stone, P. (2002). Popping the (PICO) question in research and evidence-based practice. *Applied Nursing Research*, 15(3), 197–8.
- Tang, P. C., Ash, J. S., Bates, D. W., Overhage, J. M., & Sands, D. Z. (2006). Personal Health Records: Definitions, Benefits, and Strategies for Overcoming Barriers to Adoption. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 13(2), 121–126.
- US Department of Health and Human Services, Office for Civil Rights. (2008). *Personal Health Records and the HIPAA Privacy Rule*. Retrieved from <http://www.hhs.gov/ocr/privacy/hipaa/understanding/special/healthit/phrs.pdf>
- Van De Belt, T. H., Engelen, L. J., Berben, S. A., & Schoonhoven, L. (2010). Definition of Health 2.0 and Medicine 2.0: A Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*, 12(2).
- Van der Linden, H., Kalra, D., Hasman, A., & Talmon, J. (2009). Inter-organizational future proof EHR systems: A review of the security and privacy related issues. *International Journal of Medical Informatics*, 78(3), 141–160.
- Weitzman, E. R., Kaci, L., & Mandl, K. D. (2010). Sharing Medical Data for Health Research: The Early Personal Health Record Experience. *Journal of Medical Internet Research*, 12(2), e14.
- World Health Organization. (2011). *mHealth: New horizons for health through mobile technologies*. Retrieved from http://www.who.int/goe/publications/ehealth_series_vol3/en/

- Wu, K.-W., Huang, S. Y., Yen, D. C., & Popova, I. (2012). The effect of online privacy policy on consumer privacy concern and trust. *Computers in Human Behavior*, 28(3), 889–897.
- Zuniga, A. E. F., Win, K. T., & Susilo, W. (2010). Biometrics for Electronic Health Records. *Journal of Medical Systems*, 34(5), 975–983.

Metodologia para a deteção de artefactos luminosos em imagens de retinografia com aplicação em rastreio oftalmológico

André Damas Mora^{1,2}, José Manuel Fonseca^{1,2}

atm@uninova.pt, jmf@uninova.pt

¹ Centro de Tecnologias e Sistemas - Uninova, Campus da FCT-UNL, 2829-517 Caparica, Portugal

² Departamento de Eng. Electrotécnica, FCT-UNL, Campus da FCT-UNL, 2829-516 Caparica, Portugal

DOI: 10.4304/risti.13.51-63

Resumo: O diagnóstico automático de doenças da retina baseado em processamento de imagem vê frequentemente a sua precisão comprometida pela dificuldade intrínseca na deteção de estruturas anormais e por deficiências na aquisição de imagem. Em cenários de rastreio, estas deficiências podem levar a que um número significativo de imagens tenham de ser repetidas, implicando custos e ineficiência do sistema. Neste artigo propõe-se uma metodologia que avalia de forma automática a qualidade das imagens captadas possibilitando ao operador repetir a aquisição caso se justifique. O método proposto identifica diferentes tipos de artefactos com base na sua forma, cor e intensidade. Utilizando um conjunto de 61 imagens foi obtida uma sensibilidade de 97% com 0.12 falsos positivos por imagem na deteção do artefacto central e 73% de sensibilidade com 0.36 de falsos positivos para os reflexos luminosos. Estes resultados podem considerar-se positivos tendo em conta a baixa qualidade e a heterogeneidade das imagens processadas.

Palavras-chave: classificação automática; processamento de imagem; imagem da retina; reflexos luminosos; rastreio oftalmológico.

Methodology for image artifacts detection in retinal images with application in Ophthalmology Screening

Abstract: Automatic diagnostic systems for retinal diseases based on image processing have continuously demonstrated its potential for clinical practice. However, their accuracy is often compromised by the inherent difficulty in detecting abnormal structures and aggravated by deficiencies in image acquisition. In screening scenarios, these deficiencies can lead to a significant amount of repeated images, implying costs and system's inefficiency. In this paper we propose a methodology to automatically evaluate the quality of captured images allowing the operator to repeat the acquisition if appropriate. The proposed method identifies different types of artefacts based on color, shape and image intensity. Using a set of 61 images a sensitivity of 97% at a rate of 0.12 false

positives in the central artifact detection and 73% sensitivity with 0.36 false positives on the detection of light flares, were obtained. These results can be considered positive given the poor quality and heterogeneity of the processed images.

Keywords: Automatic classification; image processing; retinal images; light flares; ophthalmology screening.

1. Introdução

O progressivo envelhecimento da população mundial (United Nations, 2013) associado às diversas patologias oculares relacionadas com a idade (Porte, 2012) leva a que a importância destas doenças tenha vindo a aumentar constantemente nas últimas décadas. Uma vez que a visão é fundamental para uma boa qualidade de vida, a deteção precoce de doenças oculares é de grande importância especialmente porque muitas patologias são assintomáticas até atingirem um estado avançado de desenvolvimento em que são muitas vezes irreversíveis (Rogers, 2007). Para efectuar a deteção precoce na generalidade da população é necessário realizar acções de rastreio em que um grande número de indivíduos é observado sendo efectuada a captação de imagens de fundoscopia que são posteriormente avaliadas por especialistas.

No entanto, as imagens da retina captadas por câmaras de fundoscopia podem conter artefactos que podem implicar a sua inutilização ou conduzir a diagnósticos incorretos especialmente quando as patologias são detetadas por métodos automáticos (Azemin et al., 2011; M. Niemeijer et al., 2007; Wilson et al., 2003). Os artefactos mais comuns são provocados por dedadas, pó e manchas causadas por tosse ou espirros do paciente (Hamilton et al., 1998). Estes artefactos são reconhecíveis como pontos de maior intensidade espalhados pela imagem (figura 1). A sujidade no interior do sistema ótico (que pode ser originada por ações de manutenção tais como mudança de lâmpadas) pode também causar imperfeições significativas na imagem (Hamilton et al., 1998) criando um anel luminoso no centro da imagem da retina a que se dá o nome de *artefacto central*. A aquisição de imagens da retina é efectuada com base em diversos processos de refração, reflexão e absorção da luz que transita entre o olho e o detector. A obstrução ou desalinhamento deste processo complexo leva inevitavelmente à produção de uma imagem defeituosa.

Quando existe desalinhamento, a imagem apresenta grandes zonas de alta intensidade luminosa com o surgimento de diversas cores (figura 1.b). A distância entre o olho e o sistema de aquisição é também de grande importância. Se a distância for superior ao desejável a imagem resultante será desfocada, enquanto que se a distância for demasiado pequena a imagem poderá apresentar reflexos indesejados que perturbarão a sua qualidade (Hamilton et al., 1998).

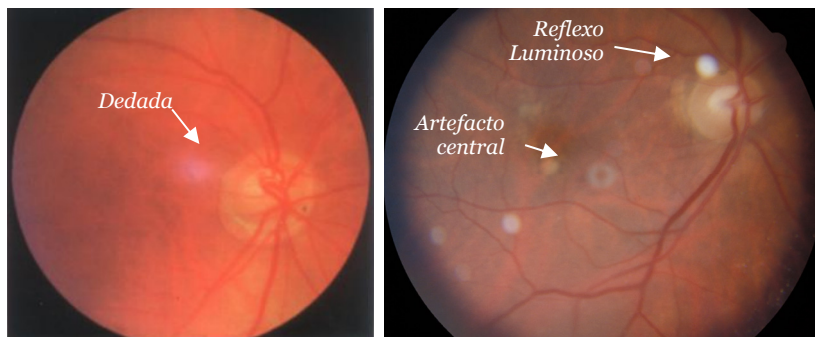


Figura 1 - Exemplos de artefactos em imagens de fundoscopia.
a) dedada (Hamilton et al., 1998); b) reflexos luminosos e artefacto central

Os artefactos mais comuns são os reflexos luminosos (*light flares*) que podem ser observados na figura 1.b. Como estes artefactos são causados pela reflexão da luz ou pela sujidade ao longo do sistema ótico, podem variar em número e intensidade (Burke, 1996). Apesar de poder parecer inofensiva, a ocorrência de artefactos nas imagens de fundoscopia pode ter um impacto significativo nos resultados dos sistemas de diagnóstico automático (Davis et al., 2009; Mora et al., 2011; Pinão et al., 2013; Yu et al., 2012) podendo as áreas da imagem com alta ou baixa luminosidade ser facilmente confundidas com patologias, aumentando assim o número de falsos positivos.

A detecção automática de artefactos luminosos em imagens da retina é um tema pouco explorado pela comunidade científica. No entanto, o seu estudo é importante pois permitirá melhorar a eficácia das campanhas de rastreio ao permitir a detecção de deficiências. Se efectuada no momento da aquisição da imagem, a detecção de artefactos pode levar à repetição imediata do exame evitando posteriores recolhas. Caso a detecção seja aplicada após a campanha de rastreio, terá como principal utilidade evitar a utilização da imagem nas zonas assinaladas como artefactos. A ocorrência de artefactos luminosos ocorre também noutros cenários de aplicação onde já foram testadas algumas técnicas para a sua detecção. Alguns trabalhos (Gu et al., 2009; Zhou & Lin, 2007) propuseram algoritmos que se baseiam na aquisição de múltiplas imagens de modo a conhecer o modelo das distorções provocadas para em seguida corrigir as alterações enquanto outros propõem algoritmos para corrigir as reflexões através da informação circundante à reflexão (Bertalmio et al., 2000; Sun et al., 2005). Contudo estes métodos não são aplicáveis nas imagens de retina uma vez que apenas se dispõe de imagens isoladas e porque na grande maioria dos casos os reflexos provocam alterações irreversíveis na imagem não sendo possível recuperar a informação mascarada pelo artefacto.

Neste artigo apresentamos um novo método para a detecção de artefactos em imagens da retina que pode ser utilizado para controlo automático de qualidade na captação de imagens especialmente em situações de rastreio ou na seleção das imagens para avaliação automática de patologias de forma a evitar a análise de imagens com artefactos que podem produzir falsos positivos.

O artigo começará por apresentar as várias fases da metodologia, nomeadamente de pré-processamento de imagem e de detecção de artefactos, para em seguida apresentar resultados da aplicação da metodologia a um conjunto de imagens recolhidas para um estudo científico que visou relacionar o tratamento de cataratas com a degeneração macular relacionada com a idade (DMRI).

2. Métodos

Entre os diversos artefactos luminosos que podem surgir em imagens de fundos, os reflexos luminosos e o artefacto central são os mais comuns (Hamilton et al., 1998). Os reflexos luminosos são normalmente manchas arredondadas que podem variar em cor e tamanho. O chamado artefacto central é consequência da acumulação de sujidade no sistema ótico apresentando forma toroidal, sempre centrado na imagem (*donut shape*).

Apesar da diferente natureza destes dois tipos de artefactos, a metodologia de base proposta para a sua detecção é baseada no mesmo algoritmo de comparação de padrões (*template matching*), utilizando diferentes configurações para cada um deles. Dado que o método de detecção automática tem tendência para produzir uma sobre-segmentação da imagem foi criado um processo de pós-classificação baseado em árvores de decisão para eliminar as zonas indevidamente segmentadas.

As secções seguintes apresentam detalhadamente a metodologia proposta desde o pré-processamento da imagem até à classificação final dos artefactos detetados.

2.1. Imagens utilizadas

As 61 imagens da retina centradas na zona macular utilizadas neste estudo foram obtidas a partir do trabalho efetuado por Simmon Brunner “ECAM – Monitoring Drusen and Geographic Atrophy after Cataract Surgery Study” (Brunner et al., 2013). Todas as imagens foram captadas no Departamento de Oftalmologia do Rudolfstiftung Hospital, Vienna, Austria usando um retinógrafo de 40° (Canon CR2-45NM, Veatch Ophthalmic Instruments) e digitalizadas com uma resolução de 1639x1116 pixéis. Os pacientes que participaram neste estudo sofriam de cataratas e de degeneração macular relacionada com a idade (DMRI), apresentando uma idade média de 80.5±6 anos.

De forma a permitir avaliar a precisão da detecção automática de artefactos um perito analisou manualmente as 61 imagens tendo detectado 96 reflexos luminosos e 50 artefactos centrais. É de notar que, uma vez que os pacientes que participaram neste estudo sofriam de cataratas (o que obviamente aumenta a opacidade e a distorção de cor das imagens captadas), algumas das imagens apresentam uma qualidade bastante reduzida.

2.2. Pré-processamento

O primeiro passo da metodologia proposta é o melhoramento do contraste entre os artefactos e o fundo da imagem. Foram analisados os espaços de cor RGB e HSV, verificando-se que o espaço HSV permite um melhor contraste para a detecção de artefactos luminosos. Analisando os três canais RGB podemos constatar que o canal vermelho apresenta um contraste reduzido entre os artefactos e o fundo, enquanto que

os canais verde e azul são semelhantes entre si apresentando ambos melhor contraste que o vermelho (com ligeira vantagem para o canal azul - figura. 2.a). Entre os três canais HSV, apenas o canal de saturação é útil para a detecção de artefactos. Embora neste caso a imagem pareça demasiado clara podemos verificar a existência de um bom contraste entre os artefactos e o fundo da imagem (figura 2.b). O canal de saturação do espaço de cor HSV foi portanto o escolhido para a detecção dos artefactos.

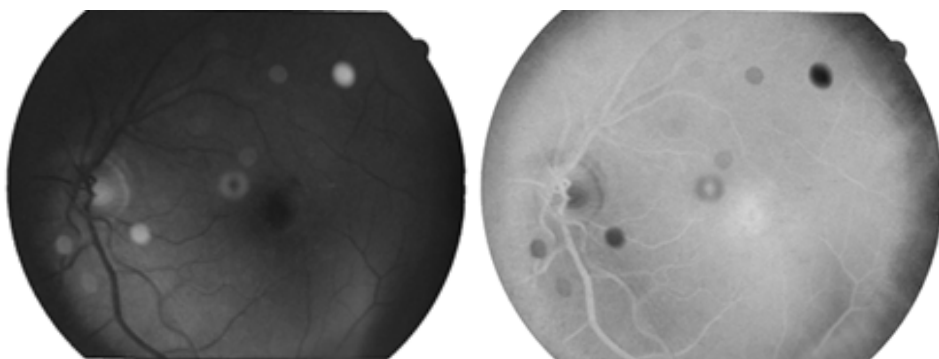


Figura 2 – Comparação de canais de cor de uma imagem de retina;
a) canal azul; b) canal de saturação.

2.3. Detecção de Reflexos Luminosos

Para a detecção dos reflexos luminosos é aplicada a técnica de comparação de padrões sendo utilizado o canal da saturação. Neste caso, a detecção de reflexos será baseada na sua forma e tamanho.

A técnica de comparação de padrões requer a existência de uma imagem padrão que se assemelhe à estrutura a procurar, sendo esta normalmente de dimensão inferior à imagem onde será efectuada a pesquisa. A pesquisa é efectuada deslocando a imagem padrão ($T(x,y)$) sobre a imagem original ($I(x,y)$) e em cada uma das localizações (x', y') comparar pixel a pixel as duas imagens, com vista à determinação de um valor de similaridade. Neste trabalho foi utilizado como medida de similaridade o Coeficiente de Correlação Normalizado ($R_{cc_norm}(x', y')$) (1) que pelo facto de remover o valor médio da intensidade (2) da imagem original e da imagem padrão e por normalizar o seu valor, apresenta uma boa tolerância a variações de iluminação e de contraste. O resultado da aplicação do método é uma imagem como a apresentada na figura 3.c, onde as regiões que mais se assemelham ao padrão têm uma maior intensidade.

$$R_{cc_norm}(x', y') = \frac{R_{cc}(x', y')}{\sum_{x,y} T(x,y)^2 \cdot \sum_{x,y} I(x+x', y+y')^2} \quad (1)$$

sendo,

$$\begin{aligned}
 R_{cc}(x', y') &= \sum_{x, y} [T(x, y) \cdot I(x + x', y + y')]^2 \\
 T(x, y) &= T(x, y) - \frac{1}{(w \cdot h)} \cdot \sum_{x'', y''} T(x'', y'') \\
 I(x + x', y + y') &= I(x + x', y + y') - \frac{1}{(w \cdot h)} \cdot \sum_{x'', y''} I(x' + x'', y' + y'')
 \end{aligned} \tag{2}$$

A escolha de uma imagem padrão adequada revela-se portanto um passo crucial para o sucesso deste método. Para imagem padrão deve ser escolhida uma imagem com um bom contraste entre as estruturas a identificar e com uma dimensão um pouco superior a um artefacto para ser possível identificar a sua forma circular em torno de um fundo uniforme. Neste estudo foi testada a utilização de uma imagem padrão criada artificialmente e uma imagem padrão extraída de uma das imagens do estudo. Verificou-se que usando a imagem real o método apresentava uma melhor taxa de detecção, sendo por isso a opção escolhida. A imagem padrão escolhida foi um reflexo bem contrastado e de contornos bem definidos de uma das imagens do estudo (figura 3.a). A imagem retirada é quadrada e inclui uma margem de pixéis de fundo em torno do reflexo.

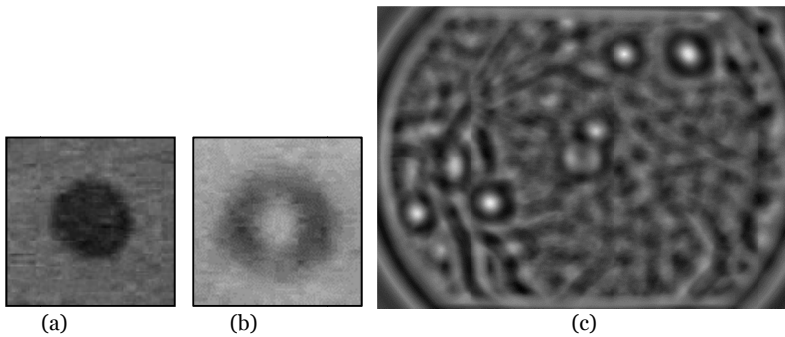


Figura 3 – Imagens padrão de reflexos luminosos (a) e do artefacto central (b);
c) Resultado da técnica de comparação de padrões entre a imagem 2.b e o padrão a).

O método proposto usa apenas uma imagem padrão uma vez que neste estudo as imagens foram todas adquiridas com o mesmo equipamento e apresentavam reflexos sempre com a mesma dimensão. No entanto, noutros estudos poderão ser incluídas outras imagens padrão adquiridas pelo equipamento em uso e ajustados os valores de limiar para detectar correctamente os novos artefactos.

Para identificar na imagem as regiões candidatas a ser classificadas como reflexos, o resultado da comparação de padrões é normalizado entre 0 e 255 sendo então aplicada uma binarização que assinala as regiões com intensidade superior a um limiar pré-definido (figura 4.a). O valor do limiar foi escolhido empiricamente variando o seu valor entre 0 e 255 e, uma vez que a taxa de verdadeiros negativos é desconhecida, foi analisada a curva *Free-response ROC* (FROC) (Chakraborty, 2000). Pelo gráfico

apresentado na figura 4.b, o valor de limiar que se encontra mais próximo do canto superior esquerdo (sensibilidade máxima e menor taxa de falsas detecções) é o valor $t=194$, atingindo uma sensibilidade de 0.83 com um rácio de 0.25 falsas detecções por imagem (FP/imagem)

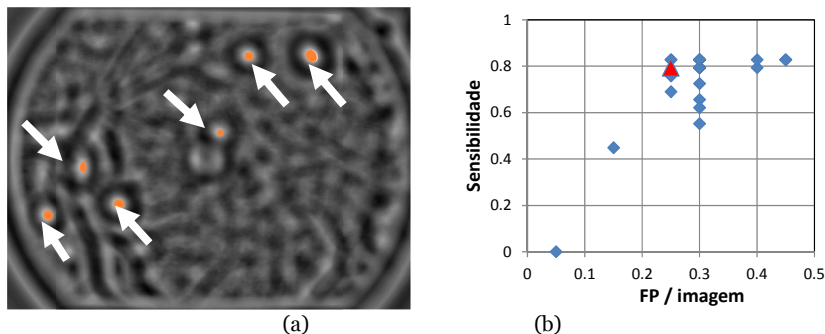


Figura 4 – a) Marcação dos candidatos com intensidade acima do limiar (*a laranja*);
b) Curva FROC para seleção do limiar de detecção de reflexos luminosos.

É de notar que é muito importante obter um correto compromisso entre sensibilidade e falsos positivos uma vez que os falsos positivos podem mascarar uma patologia e os falsos negativos podem confundir os sistemas de apoio ao diagnóstico que usem a imagem processada.

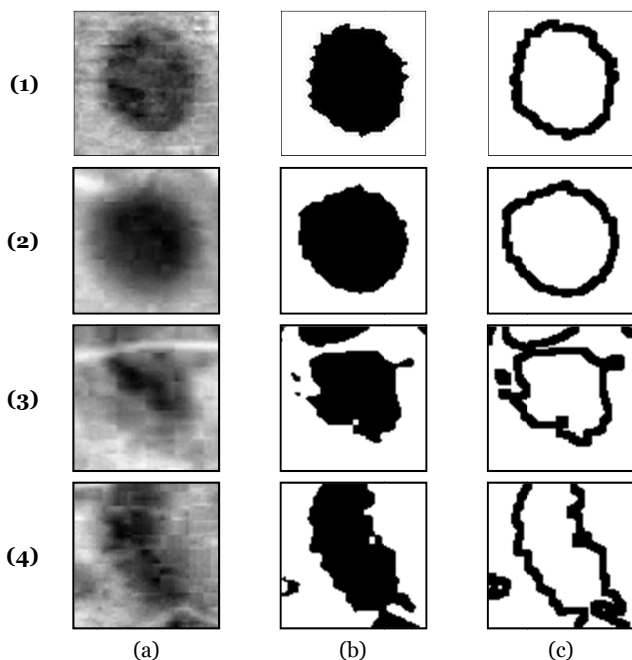


Figura 5 – Análise das imagens candidatas: (1 e 2) – candidatos verdadeiros; (3 e 4) – candidatos falsos. a) canal de saturação; b) imagem binarizada; c) imagem de contornos.

Embora o algoritmo de comparação de padrões tenha produzido uma boa segmentação dos candidatos a reflexo, gera um número significativo de falsas detecções requerendo uma pós-validação dos resultados. Uma vez que o disco ótico, devido à sua luminosidade, é uma das regiões mais propícias a ser confundida com um reflexo, qualquer candidato que se encontre nessa região será descartado.

Para efetuar a pós-validação dos candidatos foi treinado um classificador baseado em árvores de decisão, que usou como entradas algumas características dos candidatos, nomeadamente a sua forma, cor e semelhança com o padrão, as quais serão descritas em seguida.

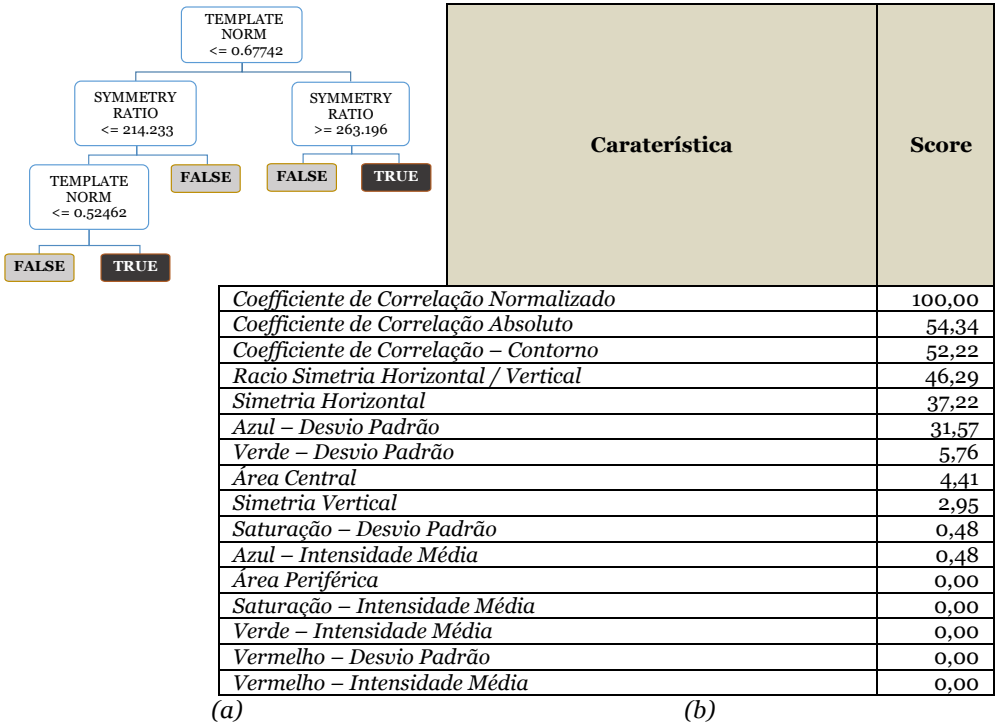


Figura 6 – (a) Importância das características atribuídas pelo software de geração de árvores de decisão; (b) Árvore de decisão gerada para validação dos candidatos.

Num primeiro passo os candidatos a reflexo são copiados da imagem de saturação para uma imagem com as mesmas dimensões da imagem padrão (figura 5.a) sendo registada a média e o desvio padrão do canal da saturação e dos três canais RGB, assim como os coeficientes de correlação normal (absoluto) e normalizado. Em seguida, é aplicada à imagem de saturação uma binarização pelo método de Otsu (Otsu, 1975) seguida de uma operação de fecho e outra de abertura (figura 5.b). Da imagem resultante é extraída a simetria horizontal e vertical e o número de pixéis a preto na zona central e periférica. Finalmente, é aplicado um filtro de Sobel para detecção de contornos (figura 5.c) sobre a qual é aplicada novamente a técnica de comparação de padrões com uma imagem padrão de um contorno circular. Na figura 5 é possível

verificar que os candidatos verdadeiros (1,2) apresentam uma forma circular regular e os candidatos falsos (3,4) formas irregulares.

As características extraídas da imagem foram aplicadas no treino e teste do classificador automático (figura 6.a), usando respetivamente 30% e 70% dos casos em cada uma das fases. Na figura 6.b são apresentadas todas as características usadas no treino do classificador e a sua importância de acordo com o software de geração de árvores de decisão.

Tal como esperado, os valores do coeficiente de correlação foram considerados os mais importantes sendo usados como testes iniciais da árvore de decisão. A simetria foi também considerada como muito importante, obtendo uma classificação superior às características relacionadas com a cor. Outras características de menor importância foram a área central e o desvio padrão dos canais azul e verde, sendo estes últimos usados para identificar falsos positivos em imagens a cores com fundos irregulares.

2.4. Detecção do Artefacto Central

Tal como os reflexos luminosos, o artefacto central pode ter uma influência negativa no desempenho de sistemas de diagnóstico automático. Como tal, é importante a sua identificação de forma a que essa região seja assinalada como danificada e/ou eventualmente alertar o operador para a necessidade de proceder à manutenção do equipamento. O artefacto central surge sempre no centro da imagem apresentando uma cor esbranquiçada e uma forma toroidal distinta de qualquer outra estrutura retiniana.

A metodologia adotada para a detecção deste artefacto é muito similar à anterior, sendo também utilizada a técnica de comparação de padrões com o coeficiente de correlação normalizado. Uma vez que este artefacto surge sempre na zona central da imagem, a pesquisa foi restringida apenas a essa zona. A imagem padrão utilizada no estudo foi igualmente retirada das imagens disponíveis, não contendo patologias e apresentando um bom contraste com o fundo (figura 3.b).

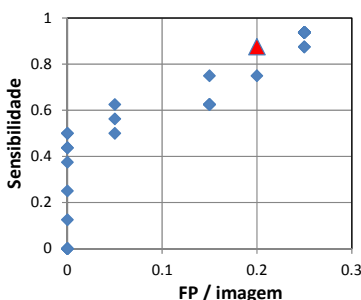


Figura 7 – Curva FROC para seleção do limiar de detecção do artefacto central.

Para a detecção e validação do artefacto central é analisado apenas o valor do coeficiente de correlação normalizado tendo sido definido empiricamente um limiar de $t=0.475$

acima do qual este é aceite. Este limiar foi também escolhido através da curva FROC (figura 7) usando os mesmos critérios utilizados para os reflexos luminosos. Obteve-se assim uma sensibilidade de 0.88 e um rácio de 0.2 falsas detecções por imagem. Uma vez que a forma do artefacto central é bem definida e que a região de pesquisa é de pequenas dimensões, o número de classificações incorretas revelou-se bastante baixo.

3. Resultados

O método proposto para a detecção dos reflexos luminosos e do artefacto central foi implementado em linguagem C# usando a biblioteca de funções *OpenCV Image Processing Library*. Tal como previamente explicado, o disco ótico foi assinalado manualmente nas imagens sendo descartado qualquer artefacto detetado dentro desta área.

Na figura 8 podem ser observados dois exemplos de detecção de artefactos. Na figura 8.a podemos ver uma imagem de qualidade normal na qual estão indicados os artefactos detetados. A figura 8.b mostra que, mesmo numa imagem com qualidade deficiente, é possível detetar corretamente todos os artefactos nela presentes. Os dois algoritmos de detecção de artefactos foram avaliados usando os conceitos de sensibilidade e de falsas detecções em cada uma das imagens do conjunto de treino e do conjunto de teste (ver tabela 1). Apesar do bom resultado obtido na detecção de reflexos luminosos com uma sensibilidade de 0.83 e um valor de falsos positivos de apenas 0.25 por imagem, foram encontradas algumas limitações relacionadas com a localização dos reflexos luminosos. Foi constatado que o algoritmo de comparação de padrões apresenta algumas dificuldades na detecção de artefactos localizados na periferia das imagens o que se traduziu numa redução da sua eficiência especialmente sobre as imagens do conjunto de teste.

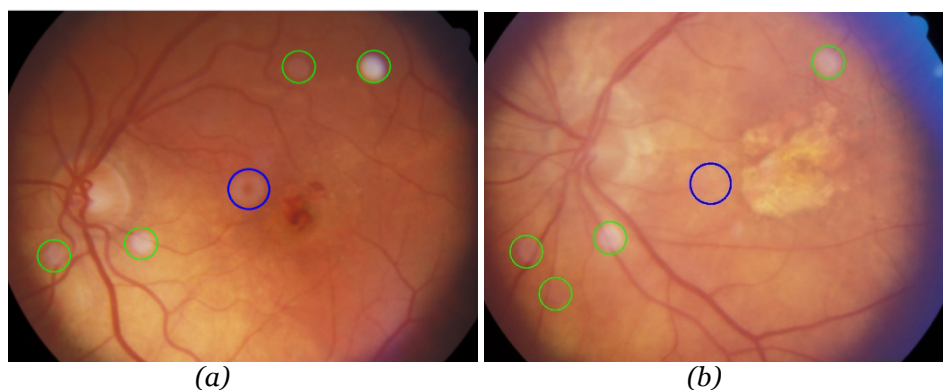


Figura 8 – Exemplos de reflexos luminosos (a verde) e de artefactos centrais (a azul escuro) marcados sobre imagens da retina de qualidade normal (a) e baixa (b).

As imagens com opacidade significativa, causada por cataratas, dificultam o processamento reduzindo a taxa de sucesso dos algoritmos. É, no entanto, de salientar que em nenhum caso se verificou qualquer confusão entre artefactos e lesões ou estruturas da retina.

Tabela 1 – Resultados para o conjunto de treino e de teste.

	Treino			Teste	
	Sensibilidade	FP/Imagem		Sensibilidade	FP/Imagem
Artefacto Central	0.88	0.20		0.97	0.12
Reflexos Luminosos	0.83	0.25		0.73	0.36
	<i>41 imagens</i>			<i>20 imagens</i>	

A detecção do artefacto central obteve uma sensibilidade de 0.97 com uma taxa de falsos positivos/imagem de 0.12. Os melhores resultados na detecção do artefacto central devem-se ao facto deste ter uma posição pré-determinada e de apresentar um formato muito característico. A comparação de resultados com outros trabalhos não foi possível por não terem sido encontrados até à data trabalhos similares que permitam a sua comparação. A utilização de bancos de imagens da retina de referência tais como o INSPIRE (Meindert Niemeijer et al., 2011), o STARE (Hoover et al., 2000) ou o DRIVE (Staal et al., 2004) foi também impossível uma vez que as imagens que os compõem foram previamente seleccionadas de forma a não conterem imagens com artefactos. Embora possam ser encontrados na literatura alguns trabalhos referindo o problema dos artefactos nas imagens da retina, nenhum dos estudos conhecidos até à data propõe a sua detecção automática.

Para aplicação desta metodologia a um cenário real prevê-se que apenas seja necessário escolher novas imagens padrão adquiridas pelo equipamento em uso e ajustar o valor do limiar de detecção de artefactos por forma a detectar artefactos que sejam visíveis e que possam ser confundidos com alguma patologia retineana.

4. Conclusões

Neste artigo é apresentada uma metodologia para a detecção de artefactos baseada nas suas características de cor e forma. O objetivo principal deste estudo é excluir de estudos posteriores ou alertar automaticamente para a necessidade de repetição da captação sempre que as imagens apresentem problemas significativos. É assim possível por um lado aumentar a eficiência das ações de rastreio ao baixar o número de pacientes que têm de voltar a sujeitar-se a exames e por outro lado melhorar a performance dos sistemas de análise automática de patologias ao evitar que imagens ou zonas das imagens contendo artefactos sejam processadas.

A metodologia proposta utiliza técnicas de comparação de padrões para pesquisar potenciais candidatos a artefactos na imagem da retina. Dado que esta técnica tem tendência para detetar um número excessivo de candidatos foi também implementado um processo de validação baseado em árvores de decisão que permite excluir falsos candidatos. A metodologia proposta apresenta uma baixa complexidade computacional permitindo a sua integração num sistema de detecção de patologias sem um impacto significativo.

A sensibilidade e a taxa de falsos positivos obtidos pelo sistema (0.97/0.12 para o artefacto central e 0.73/0.36 para a deteção do artefacto central) mostram que a metodologia proposta permite obter resultados muito aceitáveis mesmo na presença de imagens de reduzida qualidade provenientes de pacientes afetados por cataratas.

Os próximos passos deste trabalho passarão pelo teste da metodologia proposta com um conjunto de imagens mais alargado e pela sua introdução num sistema de rastreio oftalmológico com deteção de artefactos em tempo real.

Tendo como base a revisão de literatura efetuada podemos afirmar que a metodologia proposta neste trabalho é inovadora e prometedora para a deteção de artefactos em imagens da retina. A introdução deste tipo de algoritmos poderá, no futuro próximo, aumentar a eficiência dos sistemas de rastreio e diagnóstico de doenças oculares o que virá certamente contribuir para a melhoria das condições de vida da população em geral e em especial da sua faixa sénior.

Referências

- Azemin, M. Z. C., Kumar, D. K., Wong, T. Y., Kawasaki, R., Mitchell, P., & Wang, J. J. (2011). Robust methodology for fractal analysis of the retinal vasculature. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 30(2), 243–50.
- Bertalmio, M., Sapiro, G., Caselles, V., & Ballester, C. (2000). Image inpainting. In *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '00* (pp. 417–424). New York, New York, USA: ACM Press.
- Brunner, S., Mora, A., Fonseca, J., Weber, T., Falkner-Radler, C. I., Oeser, R., & Binder, S. (2013). Monitoring of drusen and geographic atrophy area size after cataract surgery using the MD3RI tool for computer-aided contour drawing. *Ophthalmologica*, 229(2), 86–93.
- Burke, M. W. (1996). *Image acquisition* (p. 917). Chapman & Hall.
- Chakraborty, D. P. (2000). The FROC, AFROC and DROC Variants of the ROC Analysis. In R. L. Van Metter, J. Beutel, & H. L. Kundel (Eds.), *Handbook of Medical Imaging, Volume 1. Physics and Psychophysics* (pp. 771–796). 1000 20th Street, Bellingham, WA 98227-0010 USA: SPIE.
- Davis, H., Russell, S., Barriga, E., Abramoff, M., & Soliz, P. (2009). Vision-based, real-time retinal image quality assessment. In *2009 22nd IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems* (pp. 1–6). IEEE.
- Gu, J., Ramamoorthi, R., Belhumeur, P., & Nayar, S. (2009). Removing image artifacts due to dirty camera lenses and thin occluders. *ACM Transactions on Graphics*, 28(5), 1.
- Hamilton, A. M. P., Gregson, R., & Fish, G. E. (1998). *Text atlas of the retina* (p. 417). Butterworth-Heinemann.

- Hoover, A., Kouznetsova, V., & Goldbaum, M. (2000). Locating blood vessels in retinal images by piecewise threshold probing of a matched filter response. *IEEE Trans Med Imaging*, 19(3), 203–210.
- Mora, A. D., Vieira, P. M., Manivannan, A., & Fonseca, J. M. (2011). Automated drusen detection in retinal images using analytical modelling algorithms. *Biomedical Engineering Online*, 10, 59.
- Niemeijer, M., van Ginneken, B., Russell, S. R., Suttorp-Schulten, M. S., & Abramoff, M. D. (2007). Automated detection and differentiation of drusen, exudates, and cotton-wool spots in digital color fundus photographs for diabetic retinopathy diagnosis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 48(5), 2260–2267.
- Niemeijer, M., Xu, X., Dumitrescu, A. V., Gupta, P., van Ginneken, B., Folk, J. C., & Abramoff, M. D. (2011). Automated measurement of the arteriolar-to-venular width ratio in digital color fundus photographs. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 30(11), 1941–50.
- Otsu, N. (1975). A threshold selection method from gray-level histograms. *Automatica*, 11, 285–296.
- Pinão, J., Oliveira, C. M., Mora, A., & Dias, J. (2013). Detection of Anatomic Structures in Retinal Images. In J. M. R. S. Tavares & R. M. N. Jorge (Eds.), *Topics in Medical Image Processing and Computational Vision* (p. 300). Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Porte, C. (2012). Pathogenesis and Management of Age-Related Macular Degeneration. *Scottish Universities Medical Journal*, 1(2), 141–153.
- Rogers, A. H. (2007). *Retina* (p. 288). Elsevier Health Sciences.
- Staal, J., Abramoff, M. D., Niemeijer, M., Viergever, M. A., & van Ginneken, B. (2004). Ridge-based vessel segmentation in color images of the retina. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 23(4), 501–509.
- Sun, J., Yuan, L., Jia, J., & Shum, H.-Y. (2005). Image completion with structure propagation. *ACM Transactions on Graphics*, 24(3), 861.
- United Nations. (2013). *World Population Ageing 2013* (No. ST/ESA/SER.A/348).
- Wilson, M. P., Yang, S., Mitra, S., Raman, B., Nemeth, S. C., & Soliz, P. (2003). Full automation of morphological segmentation of retinal images: a comparison with human-based analysis. In M. Sonka & J. M. Fitzpatrick (Eds.), *SPIE 5032, Medical Imaging 2003: Image Processing* (pp. 27–37).
- Yu, H., Agurto, C., Barriga, S., Nemeth, S. C., Soliz, P., & Zamora, G. (2012). Automated image quality evaluation of retinal fundus photographs in diabetic retinopathy screening. In *2012 IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation* (pp. 125–128). IEEE.
- Zhou, C., & Lin, S. (2007). Removal of Image Artifacts Due to Sensor Dust. In *2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 1–8). IEEE.

Modelo Vectorial para la Inferencia del Estado Cognitivo de Pacientes en Estados Derivados del Coma

Esteban Velásquez R. ¹, Alejandro Cardona M. ¹, Alejandro Peña P. ¹

estebanvelaren@gmail.com, alejandro.cardona.m@hotmail.com, pfjapena@gmail.com

¹ Grupo de Investigación en Ingeniería del Software y Modelamiento Computacional (GISMOC), Escuela de Ingeniería de Antioquia, km 2+200 mts. Envigado, Colombia.

DOI: 10.4304/risti.13.65-81

Resumen: La forma tradicional de evaluar el estado de conciencia de un individuo, ha sido mediante la aplicación de estímulos y el análisis de sus respuestas, sin embargo, esta técnica se ve limitada cuando el individuo es incapaz de responder evidentemente ante un estímulo, como es el caso de los pacientes en estados derivados del coma. En estos casos, se requiere de una conexión directa con el cerebro del paciente para detectar una respuesta. Por consiguiente, en este artículo se desarrolla y analiza un modelo computacional basado en los principios de las máquinas de soporte vectorial (MSV), para inferir el estado cognitivo de pacientes en estados derivados del coma, mediante la utilización de un equipo de electroencefalografía comercial. Los resultados obtenidos, mostraron que el modelo logró clasificar correctamente una tarea cognitiva en al menos cuatro de cada cinco pruebas en pacientes de control, lo que se traduce en la obtención de un sistema de bajo costo para el análisis del estado de conciencia y para la posible comunicación con algunos pacientes en estados derivados del coma mediante protocolos médicos definidos. De esta manera, este sistema se presenta como un gran aporte para las clínicas y centros hospitalarios, como herramienta potencial de diagnóstico para este tipo de pacientes.

Palabras-clave: Maquinas de soporte vectorial (MSV), Núcleo polinómico, Núcleo gaussiano, Electroencefalografía (EEG), Interfaz cerebro computador (ICC), Estado vegetativo.

Vector Model for the Inference of the Cognitive State in Derived State Coma Patients

Abstract: The traditional method to evaluate the conscious state of an individual consists in applying a stimulus and analyzing the response. However this technique is limited when the person cannot response evidentially to that stimulus, as are derived state coma patients. In such cases, a direct connection to the brain is required to detect the response. Therefore, in this paper we develop and analyze a computational model employing support vector machines (SVM) to infer the cognitive state of derived state coma patients using an affordable

electroencephalography neuroheadset. The results given by the proposed model confirmed that the model can correctly classify the cognitive state in at least 4 out of 5 tests in control patients, which can be translated in the contribution of a low cost system for the analysis of the conscious state and the possible following communication with some derived state coma patients by defined medical protocols. Thus, this system is a contribution for clinics and hospitals as a potential diagnostic tool.

Keywords: Support vector machine (SVM), Polynomial kernel, Gaussian kernel, Electroencephalography (EEG), Brain-computer-interface (BCI), Vegetative state.

1. Introducción

Las estrategias de identificación de los niveles de conciencia en pacientes en estados derivados del coma, son actualmente escasas y limitadas. Tradicionalmente el estado cognitivo de un paciente, ha sido evaluado mediante la Escala de Coma de Glasgow, la cual mide la profundidad del coma en un estado postraumático agudo, basándose en la apertura ocular, la respuesta motora y la respuesta verbal (Carrión, Domínguez, & Domínguez-Roldán, 2001). Sin embargo, esta escala no evalúa detalladamente el nivel de conciencia, sino que lo clasifica en un rango de gravedad que se fundamenta únicamente en respuestas motrices evidentes. Es por esto que una de las grandes limitantes de esta evaluación, está centrada en la incapacidad de realizar un diagnóstico más preciso y profundo acerca del estado cognitivo de un paciente postraumático (Cruse, et al., 2011).

La diferencia entre un paciente en estado vegetativo, y un paciente en estado de mínima conciencia, radica en la capacidad de evidenciar una respuesta consciente por parte del mismo. Es por esto que este segundo estado, se considera como una evolución del primero (inconsciencia), pero en muchos casos esta evolución no se logra diagnosticar correctamente, debido a que el paciente es incapaz de generar una respuesta motriz. Es por esto que actualmente, se está intentando integrar dispositivos especializados para medir la actividad cerebral de una persona, entre los que se cuentan las señales electroencefalográficas (EEG) (SSM Health Care, 2012), las imágenes por resonancia magnética funcional (IRMf) (Psych Central, 2008), la magnetoencefalografía (MEG) (Universidad Complutense de Madrid, 2001) y la tomografía por emisión de positrones (TEP) (MedlinePlus, 2013). Estas técnicas además están siendo utilizadas como soporte para el desarrollo de técnicas de evaluación de seguimiento de comandos cognitivos, es decir, tareas cerebrales que permiten analizar el grado de conciencia en los pacientes que poseen estas limitaciones físico-motrices (Schiff, 2002).

Algunos de los estudios más relevantes en esta área del conocimiento, hacen referencia al neurocientífico Adrian M. Owen de la Universidad de Cambridge, quien mediante imágenes de resonancia magnética funcional (IRMf) y estímulos auditivos, logró evidenciar una respuesta cognitiva en pacientes comatosos luego de que se les indicará que imaginaran dos actividades diferentes. Estas actividades conllevan un registro cerebral con patrones opuestos, los cuales pueden ser equiparados a un sí, o a un no, por parte del paciente. De esta forma, Owen logró identificar un nivel de conciencia en los pacientes evaluados (Owen, et al., 2006). Estudios posteriores realizados por este

mismo neurocientífico, validan los procedimientos realizados en este tipo de pacientes a partir de la demostración de niveles de atención específicos en algunos pacientes vegetativos y mínimamente conscientes (Owen, et al., 2013).

Otros avances en el área, especialmente relacionados con la electroencefalografía, hacen referencia al neurocientífico Ryan D'Arcey, quien mediante una interfaz cerebro-computador (ICC) de referencia ENOBIO, logró comunicarse con un paciente diagnosticado como vegetativo luego de sufrir un ataque cardíaco, a partir del registro de su actividad bioeléctrica cerebral (D'Arcey, 2012).

En consecuencia, en este artículo se desarrolla y analiza un modelo computacional basado en los conceptos de las máquinas de soporte vectorial (MSV), para la inferencia del estado cognitivo en pacientes comatosos, a partir de un conjunto de señales cerebrales EEG obtenidas mediante una interfaz cerebro computador (ICC) comercial, y basándose en los postulados de Owen (Adrian M Owen, 2004). Para tal efecto, en una primera etapa se seleccionó la ICC de acuerdo con una serie de criterios de accesibilidad, para luego proceder con la selección de las tareas cognitivas más adecuadas que produjesen patrones de activación cerebral diferenciados en los pacientes. Luego de conocer las dos tareas cognitivas, se continuó con la adquisición de las señales EEG a través de una serie de pruebas realizadas en pacientes de control (voluntarios sin ningún tipo de detrimento cognitivo); para tal fin se les indicó que imaginaran en un primer caso situaciones relajantes, y en un segundo caso situaciones frustrantes; finalmente se realizó el pre y post-procesamiento de los datos, así como la identificación de los patrones de activación mediante la utilización de la computación vectorial basada en las máquinas de soporte vectorial.

Los resultados obtenidos a través de la validación del modelo, demuestran un alto porcentaje de asertividad en la asociación de las tareas cognitivas propuestas, con relación a los registros electroencefalográficos de cada prueba, lo que se resume como un modelo tentativo para el trabajo con pacientes en estados derivados del coma en el estudio del grado de conciencia y la posterior comunicación con algunos de éstos, mediante protocolos médicos semejantes a los seguidos por los neurocientíficos mencionados anteriormente.

2. Metodología

La necesidad de conocer de una manera más profunda el estado cognitivo de pacientes en estado vegetativo, representa un gran reto para la medicina moderna, ya que esto ayudaría en gran medida al correcto diagnóstico y tratamiento de este tipo de pacientes. Es por esto que para mejorar este diagnóstico, se hace necesario el desarrollo de modelos que permitan el análisis de la respuesta cerebral de una persona ante una serie de comandos que demandan determinados patrones de activación.

2.1. Selección de la ICC (Brain computer interface)

Para la captura de la actividad bioeléctrica cerebral de un paciente en estado de coma, se procedió en primera instancia a llevar a cabo una amplia revisión en el mercado de diferentes tipos de ICC comerciales. Para tal efecto, se identificaron tres fabricantes líderes de este tipo de dispositivos a nivel mundial, entre los que se consideraron el

Emotiv (Khushaba, et al., 2012), el Neurosky (Poltavski, Biberdorf, & Petros, 2012) y el Neuroelectrics (Neuroelectrics, 2013). Posteriormente se procedió con la selección de uno de estos dispositivos, teniendo en cuenta para ello criterios técnicos tales como: número de canales, acceso a los registros puros de las señales EEG, así como el precio de mercado. Sin embargo, uno de los criterios de más peso para esta selección, estuvo determinado por el precio en el mercado, ya que una ICC comercial de bajo costo, mejoraría ostensiblemente el acceso de pacientes con bajos recursos a este tipo de diagnóstico.

2.2. Registro de la actividad cerebral en pacientes de control

Para obtener el registro de la actividad cerebral de un paciente en estado de coma, se procedió a establecer dos patrones cognitivos, en donde cada patrón estaba definido en términos de una tarea cognitiva, la cual consiste en un estímulo auditivo que orienta al paciente hacia un estado de relajación para un patrón, y uno de frustración para el segundo patrón.

Cada uno de estos patrones de activación fue aplicado a un conjunto de 30 pacientes de control. De esta forma, se le indicó a un paciente que se relajara por un período de tiempo corto, y en un segundo caso se le dijo que imaginara una situación frustrante. A partir de estos estímulos, se procedió a la recolección de la actividad cerebral del paciente, teniendo en cuenta para ello la ICC identificada en la etapa anterior, para lo cual se dispuso de un conjunto de 14 electrodos ubicados en el cuero cabelludo del paciente, en donde cada uno arroja como resultado una señal electroencefalográfica (EEG). Es de anotar que cada ICC en particular, utiliza una distribución específica de los electrodos en la cabeza de una persona, entre estas distribuciones se destacan la distribución Illinois, Montreal, Aird, Cohn, Lennox, Merlis, Oastaut, Schwab, Marshall, pero el más común es el sistema internacional “Diez-Veinte” (Hippe, Kulikowski, & Mroczek, 2012).

Para lograr la diferenciación entre estas tareas en términos de los registros cerebrales obtenidos, se procedió con un análisis estadístico ANOVA, que para el caso particular de este trabajo, permitió determinar la diferencia o la semejanza entre los dos patrones establecidos. Estas dos tareas, permitieron además identificar por lo menos dos tipos de respuesta en un paciente de control, y con esto posibilitar una posterior comunicación básica con un paciente cualquiera a partir de un protocolo predefinido.

2.3. Procesamiento de las señales EEG

Con los registros EEG obtenidos de los pacientes de control, se procedió a realizar un preprocesamiento de los datos mediante la utilización de filtros pasa alto y pasa bajo, esto con el fin de atenuar los ruidos de baja frecuencia en las señales, como los que se presentan por debajo de 1 Hz, y los de alta frecuencia, como los que se presentan por encima de los 50 Hz. Así mismo se procedió con la eliminación de la línea base de las señales (offset), con el fin de eliminar tendencias ascendentes o descendentes. Por último se realizó un análisis de componentes independientes (ICA), con el objetivo de identificar y eliminar los artefactos biológicos presentes en los registros. Este preprocesamiento se llevó a cabo mediante la utilización de la herramienta de software EEGLab de MATLAB, el cual fue desarrollado por el Centro Swartz para la

Neurociencia Computacional (SCCN, por sus siglas en inglés) (Neuroscience, 2014). Esta herramienta además de permitir la aplicación de los filtros mencionados anteriormente, permitió llevar a cabo diferentes tareas de visualización, edición y tratamiento de los registros EEG.

Luego del preprocesamiento, se procedió con la determinación de las potencias relativas de cada banda de frecuencia para cada una de las 14 señales EEG de activación cerebral de la siguiente forma: primero se realizó un periodograma modificado mediante una función de ventaneo de Hann, esto con el fin de evitar las discontinuidades al inicio y al final de la serie de datos obtenida en cada prueba (Jokinen, Ollila, & Aumala, 2000). Con la nueva serie de datos obtenida (frecuencia vs potencia) se procedió a convertir las potencias en decibelios, logrando determinar la potencia en cada banda de frecuencia para las señales EEG (delta, teta, alfa, beta y gama).

En la figura 1, se muestra el espectro de potencia de las señales EEG obtenidas luego de realizar el procesamiento previo sobre los registros obtenidos en cada una de las pruebas. Es de anotar que para cada espectro de potencia, se determinaron las potencias relativas para cada banda de frecuencia e igualmente se realizó un promedio de las potencias para cada rango específico teniendo en cuenta una frecuencia de muestreo específica.

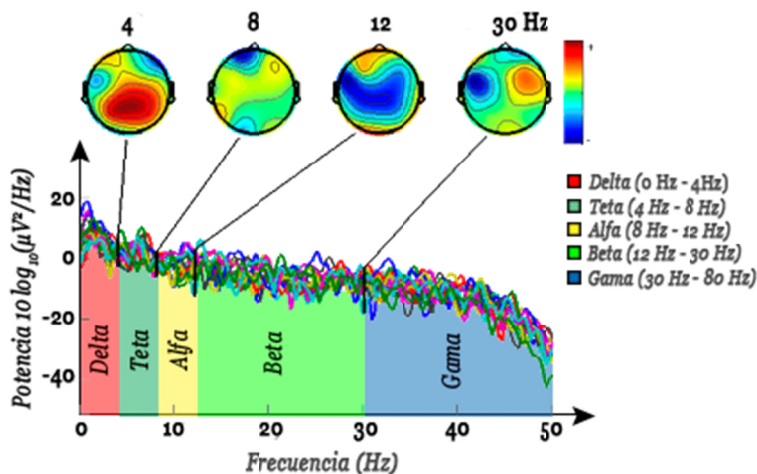


Figura 1 –Espectro de potencia de las señales EEG.

2.4. Desarrollo del modelo de clasificación.

De acuerdo con los patrones establecidos anteriormente, se desarrollaron dos máquinas de soporte vectorial (MSV) (Rojas, 1996), una primera definida por un núcleo polinómico, mientras que una segunda MSV estuvo determinada por un núcleo gaussiano. Cada una de estas MSV tomó como entradas las potencias en cada banda de frecuencia para el registro de una actividad cerebral, mientras que la salida estuvo determinada por las tareas cognitivas a identificar (frustración o relajación). Para el

entrenamiento y la validación de los modelos propuestos, se llevó a cabo un estudio sobre 60 pacientes de control, el cual tiene en cuenta la siguiente estructura (figura 2).

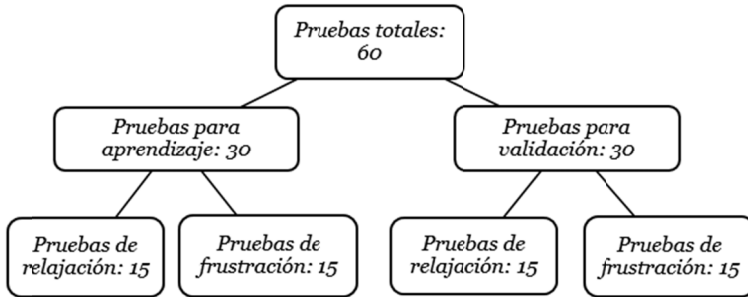


Figura 2 – Disposición de las pruebas para la identificación y validación de las MSV.

El entrenamiento de las MSV, se realizó mediante la utilización de la Regla Delta Generalizada (Isasi, 2004), esto con el fin de modificar las ponderaciones sinápticas (pesos) en función de la clasificación de los estados cognitivos utilizados como referencia. El modelo computacional de clasificación propuesto, fue desarrollado mediante la utilización de la programación orientada por objetos basada en tecnologías .NET, y su interoperabilidad de operaciones con MATLAB.

Modelo vectorial con núcleo polinómico.

La arquitectura de la MSV de tipo polinomio, estuvo determinada por un total de cinco neuronas en la capa de entrada, las cuales corresponden con cada una de las potencias promedio normalizadas (0 a 1) en cada banda de frecuencia. Esta MSV posee una capa oculta definida por una serie de nodos, los cuales realizan una suma ponderada de las entradas, así como un nodo en la capa de salida definido por la función limitador duro, la cual determina los estados cognitivos definidos como referencia para cada registro de entrada.

De esta manera, una máquina de vector soporte de tipo polinómico se denota y define:

$$s_k(j) = (x_k(j) \cdot w_k(j, i))^d \quad (1)$$

$$yr_k = f(c_k(j) \cdot s_k(j)) \quad (2)$$

Donde:

i: Indica el subíndice para las entradas.

j: Indica el subíndice para los nodos internos.

k: Indica el número de registros utilizados para el aprendizaje.

x_k : Indica el vector k de las potencias promedio en cada banda de frecuencia.

$w_k(j, i)$: Indica las conexiones entre la capa de entrada y la capa oculta.

$S_k(j)$: Indica los valores de salida de los nodos ocultos del modelo.

$c_k(j)$: Indica las ponderaciones sinápticas entre los nodos del núcleo y la capa de salida.

$f()$: Indica la función limitador duro de la salida, el cual puede tomar el valor de 1 o 0, dependiendo de la positividad del argumento de la función (0=relajación, 1=frustración).

yr_k : Indica el valor de salida de la MSV.

d : Indica la potencia que define el núcleo polinómico.

La actualización de los pesos de la MSV, se hace en términos de la regla delta generalizada, para lo cual el error y la actualización de los pesos se denota y define (Isasi, 2004):

$$e_k = yd_k - yr_k \quad (3)$$

Donde:

yd_k : Representa el estado de referencia de acuerdo con un estado cognitivo asociado a los registros de entrada.

yr_k : Representa el valor de salida generado por la MSV para un estado cognitivo.

La actualización de las conexiones de la MSV mediante la aplicación de la regla delta generalizada:

$$c_k(j) = \alpha \cdot e_k \cdot s_k(j) \quad (4)$$

$$w_k(j, i) = \alpha \cdot e_k \cdot d \cdot c_k(j) \cdot (x_{k,i} \cdot w_{k,j,i})^{d-1} \cdot x_{k,i} \quad (5)$$

Dónde:

α : Denota la velocidad en la actualización de las conexiones en la MSV.

Modelo vectorial con núcleo gaussiano:

La arquitectura de la MSV con núcleo gaussiano, está determinada igualmente como en el caso anterior, por cinco nodos de entrada que corresponden con cada una de las potencias promedio normalizadas (0 a 1) en cada banda de frecuencia. El núcleo posee una capa oculta compuesta por una serie de nodos, los cuales están definidos por una función de pertenencia gaussiana, e igualmente que en el caso anterior, esta MSV posee un nodo de salida definido por una función de activación limitador duro que corresponde con los dos estados cognitivos definidos para un paciente. De acuerdo con lo anterior, la MSV con núcleo gaussiano se denota y define:

$$S_k(j) = \frac{((X_k(i) - XC_k(j,i))^2)}{d^2} \quad (6)$$

$$H_k(j) = e^{-\frac{1}{2}S_k(j)} \quad (7)$$

$$y_k = c_k(j) \cdot H_k(j) \quad (8)$$

Donde:

$XC_k(j,i)$: Indica el valor de las componentes de los centroides que definen los nodos del núcleo gaussiano.

d_k : Indica el tamaño de la base de cada uno de las funciones que determinan el *núcleo gaussiano*.

Al igual que en el caso anterior, la actualización de los pesos se realiza mediante la utilización de la regla delta generalizada, arrojando como resultado las siguientes ecuaciones:

$$C_k(j) = \alpha \cdot e_k \cdot H_k(j) \quad (9)$$

$$W_k(j, i) = 2 \alpha \cdot e_k \cdot C_k(j) \cdot H_k(j) \cdot X_k(j) \quad (10)$$

3. Análisis de resultados

Para la selección de una ICC comercial identificadas en el mercado, se procedió a analizar una serie de características que son comunes entre diferentes ICC (Khushaba, et al., 2012), (Poltavski, Biberdorf, & Petros, 2012), (Neuroelectrics, 2013), entre estas características se encuentran: número de canales, acceso a los registros de las señales EEG y Precio de Mercado. Para cada característica se estableció un puntaje de 0 a 10, en donde “0” representa la puntuación más baja, mientras que 10 representa la puntuación más alta. Los criterios para la asignación de dichos puntajes fueron los siguientes:

- Puntuación para Canales: 0 canales -> 0 puntos / 20 canales -> 10 puntos
- Puntuación para Acceso Registros Puros: No -> 0 puntos / Si -> 10 puntos
- Puntuación para Precio: USD >= 2000 -> 0 puntos,
USD = 0 -> 10 puntos.

Tabla 1 – Especificaciones de las ICC por fabricante.

Fabricante				
				
Referencia	Canales	Acceso registros puros	Precio	Puntuación
EPOC	14 (7 puntos)	No (0 puntos)	299USD (8.5 puntos)	15.5
EEG	14 (7 puntos)	Si (10 puntos)	750USD (6.25 puntos)	23.25

Fabricante				
				
Referencia	Canales	Acceso registros puros	Precio	Puntuación
Mindwave	1 (0.5 puntos)	No (0 puntos)	79.99USD (9.6 puntos)	10.1
Mindset	1 (0.5 puntos)	Si (10 puntos)	199.99USD (9 puntos)	19.5
				
Referencia	Canales	Acceso registros puros	Precio	Puntuación
ENOBIO	8 (4 puntos)	Si (10 puntos)	5510USD (0 puntos)	14
ENOBIO	20 (10 puntos)	Si (10 puntos)	17233USD (0 puntos)	20

De acuerdo con la tabla 1, y de acuerdo con la necesidad de obtener las señales EEG con la mejor resolución posible, se logró evidenciar que la ICC comercial más apropiada para el desarrollo de este sistema es la Emotiv EEG, la cual alcanzó un puntaje de 23.25 sobre 30 puntos posibles. Esta ICC, además de ser de fácil consecución en el mercado, posee un precio que es bastante aceptable con respecto a sus especificaciones técnicas. Es importante aclarar que las dos últimas ICC desarrollados por NE (Neuroelectronics®), poseen especificaciones técnicas superiores a las otras ICC de la misma casa, sin embargo su elevado precio de mercado es una limitante, ya que además de la funcionalidad, se pretende que este sistema sea de bajo costo.

Luego de la selección de la ICC, se procedió con la obtención de los registros cerebrales en los pacientes de control de acuerdo con la estructura propuesta en la figura 2. Estos registros se adquirieron a partir del protocolo de comunicación inalámbrico USB que el Emotiv EEG emplea, el cual es guiado por un software de la misma compañía que permite decidir cuándo y por cuánto tiempo se desea realizar la grabación EEG, para posteriormente visualizar y tratar los datos en el ordenador. De esta manera, en la figura 3 se puede observar la actividad bioeléctrica cerebral de un paciente, registrada en cada uno de los 14 electrodos definidos para el Emotiv EEG. Es de anotar que los electrodos frontales, centrales, temporales, parietales y occipitales, se nombran con las letras F, C, T, P y O respectivamente, mientras que el subíndice numérico, indica si el electrodo está situado en el hemisferio derecho (pares) o izquierdo (impares) de la cabeza del paciente.

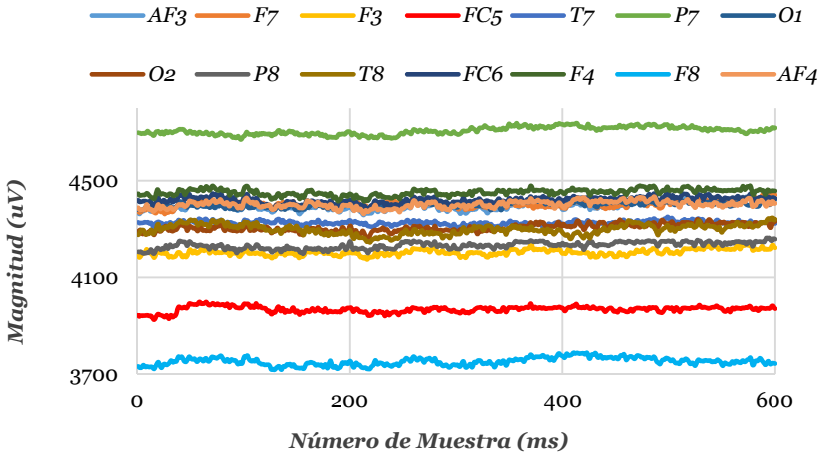


Figura 3 –Electroencefalograma.

Para cada una de las señales, se obtuvo un total de 600 instantes de tiempo, que corresponden a un período de tiempo de 5 segundos. Conforme con la estructura de las señales, estas conformaron una matriz de 600×14 datos. Las matrices en total de acuerdo con la estructura de pruebas fue de 60, en donde 30 matrices correspondieron a relajación, mientras que las 30 matrices restantes, correspondieron al estado de frustración. En la figura 4, se pueden observar los patrones de frustración y relajación en términos de las señales EEG, en el dominio de la frecuencia, que registran la actividad cerebral de una persona.

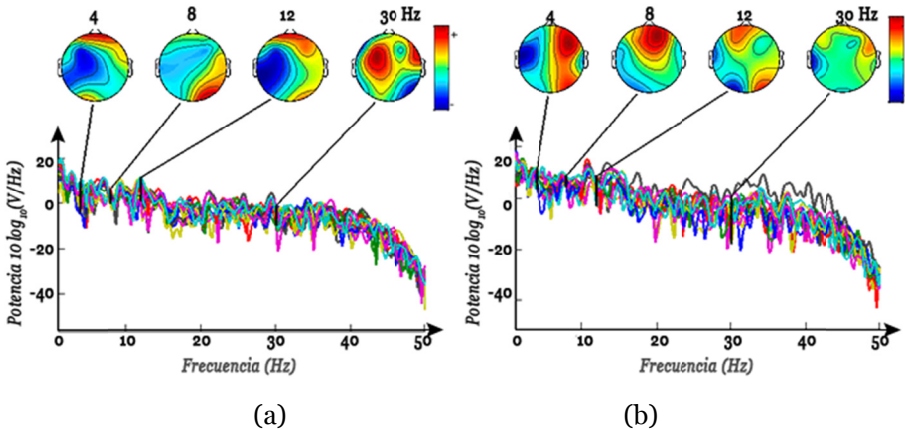


Figura 4 – Espectro de potencia en (a) patrón de relajación (b) patrón de frustración.

En la figura 4, se puede observar *a priori*, que la actividad bioeléctrica cerebral de una persona, es imposible de diferenciar a simple vista, por lo que se requiere de sistemas que permitan esta diferenciación. En las señales EEG obtenidas, se logró además evidenciar que algunas requieren de un tratamiento o preprocesamiento previo, con el

fin de eliminar artefactos biológicos, ruido, offset y demás factores que puedan afectar la correcta interpretación de las señales. En la figura 5 (a) se puede observar un ejemplo de un artefacto biológico, el cual está definido por el movimiento de los ojos, haciendo que la potencia de las señales EEG se concentren en la parte frontal del cerebro. Este artefacto constituye uno de los principales factores de error a la hora de tratar las señales EEG, por lo que para su identificación y posterior eliminación, se recurre a un análisis de componentes independientes, que permite separar la señal de interés en diversos componentes y así determinar cuáles de estos son artefactos. En la figura 5 (b) se muestra la actividad del artefacto ocular en cuestión 1ms antes, hasta 2 ms después de ocurrido el evento (Neuroscience, 2014).

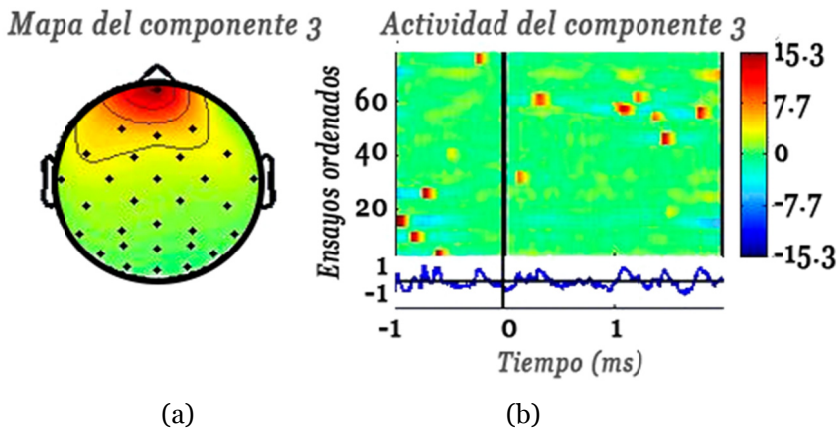


Figura 5 – Ejemplo de un artefacto biológico ocular (Neuroscience, 2014).

Luego de realizar el preprocesamiento y posterior procesamiento de los datos, se procedió a la obtención del espectro de potencia en cada una de las bandas de frecuencia (Delta, Teta, Alfa, Beta y Gama), arrojando como resultado una matriz de 6 (bandas) * 14 (electrodos) (ver tabla 2). Para cada matriz se procedió igualmente al cálculo de los promedios de los registros para cada banda, mostrando así que las potencias más altas se presentan en las bandas de frecuencia más bajas, mientras que en la banda Delta se presenta el valor de mayor potencia.

Tabla 2 – Potencias promedio de las señales EEG.

Potencia (dB W)										
Banda	AF3	F7	F3	FC5	...	FC6	F4	F8	AF4	Promedio
Delta	17.69	11.30	14.77	10.15	...	13.04	14.38	14.05	17.22	14.64
Teta	14.27	9.34	12.73	5.29	...	13.05	15.10	11.95	15.02	11.78
Alfa	11.46	7.85	9.57	8.38		13.56	13.67	13.07	12.73	11.26
Beta	11.47	10.51	12.07	12.03	...	12.63	13.43	11.81	12.34	12.00
Gama	5.59	5.80	6.93	6.04	...	9.15	6.90	6.89	7.48	6.68
Total	60.49	44.80	56.07	41.90	...	61.43	63.48	57.78	64.79	

De acuerdo con lo anterior, y con el objetivo de conocer si las dos tareas cognitivas presentaban una diferencia estadísticamente significativa en las potencias promedio para cada banda de frecuencia, se realizó un análisis ANOVA como se muestra en la tabla 3:

Tabla 3 – Análisis estadístico ANOVA (STATGRAPHICS, 2013).

	Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P	Diferencia entre estados	
							Si	No
Banda delta	Entre grupos	1.0069	1	1.0069	0.32	0.5767		
	Intra grupos	185.267	58	3.19426				X
	Total (Corr.)	186.274	59					
	Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P	Diferencia entre estados	
							Si	No
Banda teta	Entre grupos	0.364344	1	0.364344	0.17	0.6787		
	Intra grupos	121.952	58	2.10261				X
	Total (Corr.)	122.316	59					
	Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P	Diferencia entre estados	
							Si	No
Banda alfa	Entre grupos	157.046	1	157.046	37.28	0.0000		
	Intra grupos	244.327	58	4.21253			X	
	Total (Corr.)	401.373	59					
	Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P	Diferencia entre estados	
							Si	No
Banda beta	Entre grupos	41.7655	1	41.7655	42.13	0.0000		
	Intra grupos	57.4943	58	0.991282			X	
	Total (Corr.)	99.2599	59					
	Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P	Diferencia entre estados	
							Si	No
Banda gama	Entre grupos	33.5581	1	33.5581	27.96	0.0000		
	Intra grupos	69.6107	58	1.20018			X	
	Total (Corr.)	103.169	59					

Este análisis mostró, que el valor p fue menor de 0.05 para las bandas Alfa, Beta y Gama, por lo que se puede afirmar con un 95% de confianza, que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las tareas cognitivas en por lo menos tres de las

cinco bandas de frecuencia, lo que permite que las MSV sean utilizadas para la identificación del estado de conciencia en los pacientes de control utilizados para este estudio (STATGRAPHICS, 2013).

De esta manera, el proceso de aprendizaje de las dos MSV se realizó mediante el ingreso de las potencias promedio en cada banda de frecuencia para los 30 pacientes de control. La salida asociada con cada grupo de señales, estuvo determinada por la tarea cognitiva asociada (relajación = 0 y frustración = 1). En la tabla 4, se pueden observar los resultados obtenidos por los modelos vectoriales luego del proceso de aprendizaje y validación.

Tabla 4 – Resultados del proceso de aprendizaje y de validación para cada MSV.

Aprendizaje MSV polinómica				Validación MSV polinómica			
<i>Estado mental</i>	<i>Aciertos</i>	<i>Desaciertos</i>	<i>Total</i>	<i>Estado mental</i>	<i>Aciertos</i>	<i>Desaciertos</i>	<i>Total</i>
<i>Relajación</i>	13	2	15	<i>Relajación</i>	12	3	15
<i>Frustración</i>	12	3	15	<i>Frustración</i>	11	4	15
<i>Total</i>	25	5	30	<i>Total</i>	23	7	30
Aprendizaje MSV con núcleo gaussiano				Validación MSV con núcleo gaussiano			
<i>Estado mental</i>	<i>Aciertos</i>	<i>Desaciertos</i>	<i>Total</i>	<i>Estado mental</i>	<i>Aciertos</i>	<i>Desaciertos</i>	<i>Total</i>
<i>Relajación</i>	13	2	15	<i>Relajación</i>	12	3	15
<i>Frustración</i>	14	1	15	<i>Frustración</i>	13	2	15
<i>Total</i>	27	3	30	<i>Total</i>	25	5	30

De acuerdo con lo anterior, las MSV utilizadas para la identificación de los estados cognitivos de un paciente de control, arrojaron en su proceso de entrenamiento porcentajes de reconocimiento cercanos al 83% en promedio, lo que refleja el buen aprendizaje de las MSV. Por su parte el modelo MSV con núcleo gaussiano, evidenció porcentajes de reconocimiento mucho más altos y cercanos al 90%, lo que se evidenció en una disminución pronunciada del error por parte de este modelo como se muestra en la figura 6. Con respecto a la validación, los modelos alcanzaron en promedio un 76% de reconocimiento, siendo la MSV con núcleo gaussiano la que obtuvo un mejor resultado con un valor cercano al 83%. Este porcentaje de reconocimiento, se logró gracias a la capacidad de generalización del modelo, como resultado de su comportamiento en la etapa de aprendizaje. Es de anotar que el porcentaje de reconocimiento logrado por un modelo, se obtiene a partir de la relación existente entre la cantidad de aciertos totales, frente al total de las pruebas utilizadas tanto en la etapa de aprendizaje como de validación.

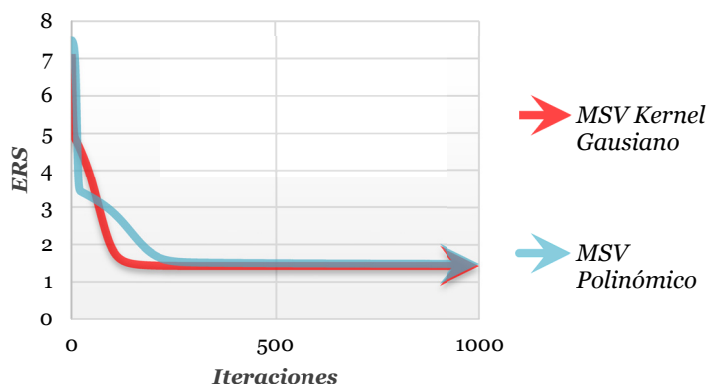


Figura 6 – Iteraciones vs Error para cada MSV en una prueba.

4. Consideraciones y alcances

Al momento de hacer las pruebas para la adquisición de los datos a tratar y analizar se pueden presentar diferentes factores de error que pueden comprometer la veracidad de los estudios y el alcance del modelo, tanto en los pacientes de control como en los pacientes en estados derivados del coma.

Para los primeros, estos factores suelen suceder debido a causas fisiológicas que no están relacionadas con un detrimento cognitivo o a causas externas que afectan la concentración; para los pacientes de control se deben tener en cuenta los factores enunciados a continuación:

- Los artefactos biológicos generados por movimientos oculares, tensiones musculares o palpitaciones, pueden alterar la señal a tratar.
- Se debe tener en cuenta que el estímulo auditivo inicial genera una respuesta cerebral que se evidencia en los registros EEG. Esto se conoce como P300, que es un potencial relacionado con eventos que ocurre 300 ms después del estímulo auditivo.
- En el momento de la prueba cabe la posibilidad de que el paciente no lleve a cabo adecuadamente la tarea cognitiva o piense en situaciones sin relación a esta.
- El paciente podría ser distraído de la tarea cognitiva asignada por alguna causa exterior.

Cuando se trata de pacientes en estados derivados del coma y se pretende realizar un electroencefalograma se deben considerar, además de los factores mencionados anteriormente, las siguientes consideraciones:

- La capacidad de estas personas para responder frente a un estímulo es fluctuante.

- Es posible que en el instante de la prueba el paciente no se encuentre consciente, es decir, que esté en un estado de relajación profundo por un periodo de tiempo indeterminado.
- La dificultad que representa identificar los reflejos voluntarios de los involuntarios en la actividad cerebral del paciente.
- Presencia de déficits sensitivos, motores y cognitivos que imposibilitan una respuesta cerebral adecuada por parte del paciente frente a un estímulo.
- Se debe revisar si al paciente se le están suministrando medicamentos que puedan llegar a producir un estado de coma inducido farmacológicamente.

A partir de estas consideraciones, se debe tener presente que los resultados arrojados por el modelo no deben ser tomados como definitivos ya que hay una gran cantidad de factores subjetivos que se pueden presentar en el momento de las valoraciones, que influyen desde la posibilidad que existe de que el paciente olvide cómo realizar una determinada tarea cognitiva, que no sea capaz de llevarla a cabo, o que simplemente la prueba realizada para una tarea tenga el efecto contrario, como podría presentarse en el caso del estado de relajación, en donde existe el riesgo de que el paciente genere patrones de activación opuestos de forma involuntaria.

5. Conclusiones

Los modelos vectoriales propuestos, mostraron gran efectividad en la identificación de dos tareas cognitivas en pacientes de control. Sin embargo, el modelo MSV gaussiano se comportó de una mejor manera frente a la clasificación, ya que este modelo realiza una partición finita del espacio de solución del problema, a diferencia del modelo polinómico, el cual realiza la clasificación sobre un espacio infinito.

Existen diferentes factores de error que se pueden presentar durante las pruebas que influyen en forma determinante en la calidad de los registros ingresados al modelo, tanto para los pacientes de control como para los pacientes en estados derivados del coma. Esto supone la necesidad de tomar medidas de precaución de modo que se asegure la adquisición correcta de los registros electroencefalográficos y no se sesguen los resultados arrojados por el modelo.

La integración del modelo vectorial con las interfaces cerebro-computador de adquisición de señales EEG, permite generar un sistema de bajo costo que puede ser extendido de forma general a pacientes en estados derivados del coma a través del continuo perfeccionamiento del modelo con estudios posteriores en estos pacientes. De esta forma se posibilita la inferencia del estado cognitivo y la posterior comunicación con éstos a través de protocolos médicos definidos; sirviendo como herramienta de diagnóstico para las clínicas y centros hospitalarios.

6. Referencias bibliográficas

Adrian M Owen, S. L. (2004). Brain Function in Coma, vegetative State, and Related Disorders. *The Lancet Neurology*, Vol 3, 537-547.

- Carrión, J. L., Domínguez, M. d., & Domínguez-Roldán, J. M. (2001). Coma y Estado Vegetativo: Aspectos médico-legales. *Revista Española de Neuropsicología*, 63-76.
- Cruse, D., PhD, S. C., MSc, C. C., PhD, T. A., PhD, D. F.-E., MD, P. J., . . . PhD, P. A. (2011). Bedside detection of awareness in the vegetative state: a cohort study. *The Lancet*, 378(9809), 2088-2094. Obtenido de <http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736%2811%2961224-5/abstract>
- D'Arcy. (14 de Octubre de 2012). Consciousness scanner giving hope to brain trauma patients. *CTVnews*.
- Emotiv. (7 de abril de 2013). Recuperado el 7 de abril de 2013, de <http://www.emotiv.com/>
- Hippe, Z. S., Kulikowski, J. L., & Mroczek, T. (2012). *Human – Computer Systems Interaction: Backgrounds and Applications Vol.2*. Rzeszów, Polonia: Springer.
- Isasi, P. (2004). *Redes de Neuronas Artificiales - Un enfoque práctico*.
- Jokinen, H., Ollila, J., & Aumala, O. (2000). On windowing effects in estimating averaged periodograms of noisy signals. *ScienceDirect*, 197-207.
- Khushaba, R., Greenacre, L., Kodagoda, S., Louviere, J., Burke, S., & Dissanayake, G. (2012). Choice modeling and the brain: A study on the Electroencephalogram (EEG) of preferences. *ScienceDirect*, 12378-12388.
- MathWorks. (2002). Obtenido de http://www.ece.uvic.ca/~frodo/courses/elec260/matlab/signal_tb.pdf
- MedlinePlus. (2013). Obtenido de <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/007341.htm>
- Neuroelectrics. (2013). *Neuroelectrics*. Obtenido de <http://neuroelectrics.com/>
- Neuroscience, S. C. (2014). *EEGLAB*. Obtenido de <http://scn.ucsd.edu/eeglab/>
- Neurosky. (7 de abril de 2013). Recuperado el 7 de abril de 2013, de <http://www.neurosky.com/>
- Owen, A. M., Coleman, M. R., Boly, M., Davis, M. H., Laureys, S., & Pickard, J. D. (2006). Detecting Awareness in the Vegetative State. *Sciencemag*, 1402.
- Owen, A., Chennu, S., Finoia, P., Kamau, E., Monti, M., Allanson, J., . . . Bekinschtein, T. (2013). Dissociable endogenous and exogenous attention in disorders of consciousness. *NeuroImage: Clinical*, 450-461.
- Poltavski, D., Biberdorf, D., & Petros, T. (2012). Accommodative response and cortical activity during sustained attention. *ScienceDirect*, Pages 1-8.
- Psych Central. (2008). Obtenido de <http://psychcentral.com/lib/what-is-functional-magnetic-resonance-imaging-fmri/0001056>
- Rojas, R. (1996). *Neuronal Networks: A systematic introduction*.

Schiff, N. (2002). Residual cerebral activity and behavioural fragments can remain in the persistently vegetative brain. *Brain*, 1210-1234.

SSM Health Care. (2012). Obtenido de <http://ssmhealth.adam.com/content.aspx?pid=5&gid=003931>

STATGRAPHICS. (2013).

Universidad Complutense de Madrid. (2001). Obtenido de http://pendientedemigracion.ucm.es/info/otri/complutecno/fichas/tec_tortiz1.htm

Previsão de tempos de internamento num hospital português: aplicação da metodologia CRISP-DM

Raul M. S. Laureano ¹, Nuno Caetano ², Paulo Cortez ³

raul.laureano@iscte.pt, nuno.caetano@defesa.pt, pcortez@dsi.uminho.pt

¹ Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL), Business Research Unit (UNIDE-IUL), Escola de Gestão (IBS), Av. das Forças Armadas, 1649-026 Lisboa, Lisboa, Portugal

² HFAR - Hospital das Forças Armadas, Azinhaga Ulmeiros, 1620-060 Lisboa, Lisboa, Portugal

³ ALGORITMI Research Centre, Department of Information Systems, University of Minho, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Guimarães, Portugal

DOI: 10.4304/risti.13.83-98

Resumo: Com base nos dados disponíveis num hospital português relativos aos processos de internamento, ocorridos no período de 2000 a 2013, e seguindo a metodologia de *data mining* CRISP-DM, obteve-se um modelo de previsão dos tempos de internamento baseado no algoritmo *random forest* que apresentou uma elevada qualidade, e superior à obtida com outras técnicas de *data mining*, e que permitiu identificar os atributos clínicos do paciente como os mais importantes para a explicação dos tempos de internamento.

Palavras-chave: *Data Mining*; Tempo de internamento; Modelo de previsão; Regressão; CRISP-DM.

Predicting inpatient length of stay in a Portuguese hospital using the CRISP-DM methodology

Abstract: *Using data collected from a Portuguese hospital, within the period 2000 to 2013, we adopted the CRISP-DM methodology to predict inpatient length of stay. The best method (random forest algorithm) achieved a high quality prediction. Such model allowed the identification of the most relevant input features, which are related with the patients' clinical attributes.*

Keywords: *Data Mining; Length of Stay; Prediction model; Regression; CRISP-DM.*

1. Introdução

Os hospitais têm vindo a beneficiar dos avanços da tecnologia e, em particular, dos sistemas de informação de apoio à saúde (Lee *et al.*, 2011). No entanto, dado o enorme volume e complexidade da informação armazenada, torna-se difícil a análise e

compreensão dos dados e, consequentemente, a obtenção de informação útil à tomada de decisão.

No que diz respeito à gestão hospitalar, os hospitais apresentam como objetivos reduzir o tempo de internamento, aumentar o número de camas disponíveis para novos internamentos e reduzir as listas de espera. Neste contexto, os hospitais têm necessidade de prever os tempos de permanência num serviço de internamento.

Dispondo os hospitais, desde há cerca de vinte anos, de bases de dados com informação clínica dos seus milhares de pacientes (Tsumoto & Hirano, 2010), porque não usarem de forma regular esse manancial de dados para a criação de modelos de apoio à decisão. De facto, estudos mostram que os hospitais que conseguem controlar os tempos de internamento diminuem os custos por admissão e os custos diários do doente (Suthummanon & Omachonu, 2004).

Por sua vez, o crescente aumento de dados nas bases de dados organizacionais e a necessidade de técnicas apropriadas para a sua análise facilitou o emergir de novas técnicas de exploração de dados (Ferreira *et al.*, 2006). A área do *data mining* visa a extração de conhecimento útil a partir de dados em bruto (Fayyad *et al.*, 1996). O uso de processos e técnicas de *data mining* para o desenvolvimento de modelos de apoio à decisão para a gestão e rentabilização dos serviços de internamento, suportados no sistema de informação de uma instituição hospitalar, torna-se um fator crítico de sucesso.

Assim, os objetivos do estudo são: criar um modelo preditivo dos tempos de internamento de pacientes numa instituição hospitalar (HFAR – Hospital das Forças Armadas – Polo de Lisboa); e identificar os atributos, clínicos e sociodemográficos dos pacientes, com maior influência no tempo de internamento. Um modelo de previsão de tempo de internamento (LOS, do inglês *length of stay*), que é uma medida empregue em todo o mundo para medir o consumo dos recursos hospitalares e a monitorização de desempenho (Castillo, 2012), permite evitar períodos de internamento prolongados, melhorar os serviços de saúde e gerir de forma mais eficiente os recursos hospitalares.

De facto, neste estudo foram selecionados os dados referentes a 26.462 episódios de internamento, associados à atividade dos diversos serviços de internamento e especialidades médicas, ocorridos entre outubro de 2000 e março de 2013. Foram selecionados, com a colaboração de especialistas de saúde, 29 atributos (incluído o atributo a prever) explicativos do número de dias de internamento do utente, entre outros, os relacionados com o tipo de internamento, hora de entrada do paciente, e os de caracterização sociodemográfica dos pacientes (e.g., sexo). Foram também testadas diversas técnicas de regressão: método simples da previsão baseado na média (AP), regressão múltipla (MR), árvores de decisão (DT), redes neuronais artificiais (ANN), *random forest* (RF) e máquinas de vetores de suporte (SVM). Os resultados obtidos foram interpretados tendo em consideração os impactos em objetivos médicos e de gestão.

O resto do artigo está organizado da seguinte forma: na secção 2 apresenta-se uma exposição de vários casos de estudo relacionados; na secção 3 é descrito o problema e a metodologia CRISP-DM (*Cross-Industry Standard Process for Data Mining*) utilizada, indicando-se para cada fase os procedimentos efetuados; na secção 4 é efetuada a

análise e discussão dos resultados; e na última secção são apresentadas as conclusões finais, realçando-se os contributos da investigação.

2. Trabalhos Relacionados com Previsão de Tempos

Os sistemas inteligentes na medicina têm sido aplicados em diversas vertentes. Entre outras, na fase de diagnóstico, na identificação de melhores terapias para uma patologia e na investigação de novas formas de tratamento (por exemplo, Santos e Portela, 2011). No que diz respeito ao tempo de internamento, existem diversos estudos. Em geral, os modelos consideram as características sociodemográficas e clínicas do paciente e, também, as características relacionadas com o próprio internamento como explicativas do tempo de internamento. Estes modelos são estimados, quer recorrendo a técnicas estatísticas mais tradicionais, em geral, regressão logística e regressão linear (por exemplo, Merom *et al.*, 1998; Abelha *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2010; Pena *et al.*, 2010; Freitas *et al.*, 2012), quer recorrendo a técnicas mais associadas ao *data mining*, em geral, redes neuronais (por exemplo, Walczak *et al.*, 1998), quer ainda a diversas técnicas e comparando-as (por exemplo, Liu *et al.*, 2006; Tanuja *et al.*, 2011; Sheikh-Nia, 2012).

Alguns autores optam por considerar o número de dias de internamento como um atributo categorial, correspondendo a internamentos de curta, média e longa duração (Azari *et al.*, 2012). Noutra perspetiva, identificam-se estudos que têm por base uma amostra de pacientes de um único hospital com uma única especialidade ou de apenas uma especialidade dum hospital, como o de Tanuja *et al.* (2011), em que são analisados 401 episódios de um hospital de geriatria. No campo oposto, também se identificam estudos em que a amostra é composta por episódios de diferentes hospitais de um mesmo país ou de diferentes países. Por exemplo, Zhan & Miller (2003), que analisam 7,45 milhões de internamentos de 994 hospitais norte-americanos no ano de 2000, ou Liu *et al.* (2010) que recolhem dados de 155.474 hospitalizações ocorridas entre 2002 e 2005 em 17 hospitais da Califórnia (Estados Unidos da América).

Em relação aos atributos considerados como potencialmente explicativos do tempo de internamento estes variam de acordo com os objetivos do estudo. Em qualquer dos casos identificam-se em muitos estudos características sociodemográficas dos pacientes, itens do seu estado fisiológico à admissão e outros atributos relacionados com o diagnóstico clínico e sua gravidade, atributos relacionados com o historial clínico do paciente e, também, com o próprio internamento e hospital.

3. Problema e Metodologia

3.1. Problema

A previsão de tempos de internamento é uma tarefa complexa, sendo que deverá ser efectuada pouco tempo após a chegada do doente ao hospital. No contexto deste estudo, o problema é modelado via uma tarefa de regressão, pretendendo-se analisar o desempenho de diversas técnicas de *data mining* para prever o tempo de internamento de um hospital português. Associado a este problema de regressão surgem três questões: preparação dos dados, modelação dos dados e avaliação dos modelos.

3.2. Metodologia CRISP-DM

Atendendo aos objetivos e ao problema a metodologia que se revela mais adequada é a metodologia CRISP-DM, que é mais usual em problemas que envolvam *data mining*, tendo uma taxa de preferência entre os profissionais de 42% (KDnuggets, 2007). A seleção desta metodologia, em detrimento de outras como o SEMMA (*Sample, Explore, Modify, Model, Assess*) ou da PMML (*Predictive Model Markup Language*), reside no facto de esta ser mais completa e iniciar-se com o estudo do negócio, ou seja, o CRISP-DM é uma metodologia que se centra nas necessidades dos gestores e na resolução dos seus problemas de gestão. Esta metodologia contempla seis fases que são flexíveis (Clifton & Thuraingham, 2001), sendo que todas foram abordadas neste estudo exceto a última (implementação).

Compreensão do negócio

Em 2012 foi criado o Hospital das Forças Armadas (HFAR) enquanto hospital militar único, tendo como missão a prestação de cuidados de saúde aos beneficiários da ADM (Assistência à Doença dos Militares), em cooperação e articulação com o SNS (Serviço Nacional de Saúde). Uma das dificuldades com que este hospital se depara reside em garantir camas suficientes para pacientes oriundos da consulta e do serviço de urgência, devido à fusão dos hospitais militares de Lisboa.

Em relação aos recursos tecnológicos disponíveis, a instituição hospitalar dispõe de um sistema de informação para registo de informação clínica relevante, suportada numa base de dados relacional Oracle 10G, e privilegia as ferramentas *open source* (R, Rattle) para o tratamento dos dados. Por outro lado, o estudo teve um prazo de um ano para a sua concretização (final de setembro de 2013) e teve que garantir a segurança e proteção dos dados dos pacientes. Definiu-se também que a solução para prever os tempos de permanência nos serviços de internamento deveria permitir efetuar previsões com uma margem de erro inferior a 20% e teria por base as técnicas de *data mining* para problemas de regressão, tendo-se adotado a biblioteca *rminer* para a ferramenta R que facilita o uso de algoritmos nas tarefas de regressão (Cortez, 2010).

Compreensão dos dados

Os episódios de pedido de internamento têm a sua origem em episódios de consulta, de urgência ou de plano operatório anteriormente registado, gerando um episódio de pré-internamento. Com a entrada do paciente é gerado um episódio associado a um serviço físico de internamento, médico e valência hospitalar, sendo que o internamento em causa pode ser considerado em regime de internamento ou de ambulatório. O paciente considera-se internado até obtenção de alta médica e após saída física do serviço de internamento. O fluxo de trabalho existente no hospital encontra-se representado na Figura 1.

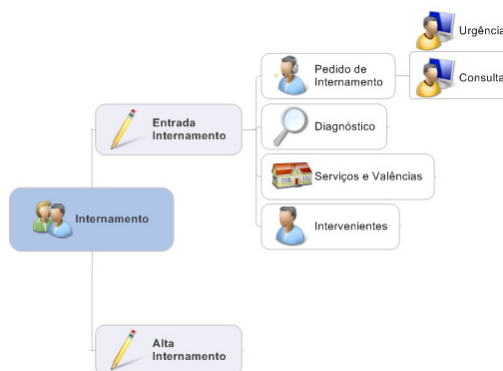


Figura 1 - Diagrama do processo de internamento hospitalar

A análise da estrutura da base de dados permitiu identificar o relacionamento entre as diversas tabelas associadas ao processo de internamento e constatar que os atributos disponibilizados já se resumiam a um registo por paciente e por número de processo de internamento, permitindo a sua transposição direta para o ficheiro de entrada às técnicas de *data mining*. A manipulação de dados efetuou-se via ferramenta SQL Navigator 6.4 e foi utilizada a ferramenta Microsoft Excel para visualização e tratamento do conjunto inicial de dados. Constatou-se que os dados respeitavam ao período de outubro de 2000 a março de 2013, contemplando 26.462 episódios de internamento associados às diversas especialidades médicas.

Atendendo aos atributos disponíveis na base de dados e aos identificados na literatura foram selecionados 28 atributos (Tabela 1), que foram confirmados e validados por um painel de nove especialistas de diversas especialidades médicas do hospital, nomeadamente, cirurgia geral (2), cirurgia plástica, gastroenterologia, ginecologia, medicina interna (2), neurocirurgia, e pneumologia.

A análise aos dados identificou que os atributos qualitativos representam a maioria dos atributos selecionados. Por outro lado, verificou-se a existência de valores omissos em alguns dos atributos (por exemplo, o Diagnóstico Principal que apresenta 19.268 valores em falta) e que alguns atributos qualitativos apresentavam um elevado número de categorias possíveis, representando uma dispersão muito elevada, podendo dificultar a utilização destes mesmos atributos pelas técnicas de *data mining* escolhidas aquando da modelação (a título de exemplo, 11.195 datas de nascimento e 2.436 localidades diferentes). Também a visualização gráfica das distribuições dos atributos permitiu identificar *outliers*, que nos casos em que correspondiam a erros foram eliminados (por exemplo, uma idade de 270 anos) e analisar o grau de assimetria das distribuições. Foram igualmente analisadas as relações entre atributos tendo-se identificado apenas uma relação muito forte entre os atributos GDH e GCD, podendo evidenciar redundância nos dados.

Tabela 1 – Atributos seleccionados e sua validação por outros estudos e painel de especialistas

Atributo	Nº validações (painel)	Suporte
Sexo (Sexo)	8	Merom <i>et al.</i> (1998); Abelha <i>et al.</i> (2007); Kalra <i>et al.</i> (2010); Oliveira <i>et al.</i> (2010); Pena <i>et al.</i> (2010); Castillo (2012); Sheikh-Nia (2012)
Idade (Idade_Intern)	8	Abelha <i>et al.</i> (2007); Kalra <i>et al.</i> (2010); Oliveira <i>et al.</i> (2010); Pena <i>et al.</i> (2010); Castillo (2012); Freitas <i>et al.</i> (2012); Sheikh-Nia (2012)
Escolaridade (Escolaridade)	3	Castillo (2012)
Estado civil (Est_Civil)	4	Painel especialistas
Data de nascimento (Dt_nascimento)	1	Painel especialistas
País (País)	3	Painel especialistas
Localidade (Localidade)	5	Painel especialistas
Procedimento cirúrgico principal (Proc_Principal)	9	Abelha <i>et al.</i> (2007); Castillo (2012)
Tipo de episódio de origem (T_Episod_Origem)	5	Merom <i>et al.</i> (1998)
Diagnóstico principal (Diag_Principal)	7	Merom <i>et al.</i> (1998); Kalra <i>et al.</i> (2010); Oliveira <i>et al.</i> (2010); Azari <i>et al.</i> (2012); Castillo (2012); Sheikh-Nia (2012)
Especialidade médica (Espec_Medica)	8	Azari <i>et al.</i> (2012); Sheikh-Nia (2012)
Tipo de episódio de internamento (T_Episod_Intern)	5	Castillo (2012); Freitas <i>et al.</i> (2012)
Nº de internamentos anteriores (N_Intern_Anterior)	9	Castillo (2012); Sheikh-Nia (2012)
Tratamento (Tratamento)	8	Painel especialistas
Diagnóstico inicial (Diag_Inicial)	7	Painel especialistas
GDH (GDH)	5	Painel especialistas
GCD (GCD)	2	Painel especialistas
Ano do internamento (Ano_Intern)	1	Freitas <i>et al.</i> (2012); Sheikh-Nia (2012)
Data de admissão internamento (Dt_Internamento)	4	Kalra <i>et al.</i> (2010)
Data de saída internamento (Dt_Alta_Intern)	4	Kalra <i>et al.</i> (2010); Oliveira <i>et al.</i> (2010)
Nº de dias de internamento (N_Dias_Intern)	9	Merom <i>et al.</i> (1998); Abelha <i>et al.</i> (2007); Oliveira <i>et al.</i> (2010); Azari <i>et al.</i> (2012); Castillo (2012)
Serviço de internamento (Serv_Intern)	7	Castillo (2012)
Médico alta (N_Med_Alta)	5	Sheikh-Nia (2012)
Destino após alta (Dest_Alta)	7	Painel especialistas
Data pedido internamento (Dt_Ped_Intern)	2	Painel especialistas
Mês internamento (Mes_Intern)	2	Painel especialistas
Hora internamento (Hora_Interm)	4	Painel especialistas
Hora alta internamento (Hora_Alta_Inter)	2	Painel especialistas

Preparação dos dados

Nesta análise foram eliminados dados incorretos (por exemplo, um número de dias de internamento de 2.294 dias referente a um episódio de ambulatorio) e registos relativos a 29 episódios de internamento associados ao código de serviço 9 (serviço virtual para testes aplicacionais). Verificou-se também a correspondência entre os

códigos dos vários atributos e seus respetivos atributos descritivos, de modo a eliminar um grande número de níveis existentes (por exemplo, na Escolaridade os códigos 10, 31, 99, 999 foram substituídos por “NA” (*Not Available*), pois não apresentavam descritivo associado, no Estado Civil o valor 9 e “A” foram substituídos por “NA”, pois apresentavam o descritivo “Desconhecido”). Nesta fase foram ainda excluídos 14 atributos (Tabela 2) devido, essencialmente, à existência de redundância nos dados, de um grande número de valores omissos, de um elevado número de valores possíveis ou de falta de relevância teórica e/ou prática.

Os valores omissos foram substituídos nas 26.431 observações recorrendo à técnica *hot deck* (Brown & Kros, 2003), que consiste em procurar o exemplo mais semelhante (*1-nearest neighbor*) e substituir o valor omissos pelo valor encontrado no exemplo mais próximo. No caso do Sexo optou-se pela exclusão de 12 registos com o valor indefinido.

Tabela 2 – Atributos eliminados

Atributo	Motivo de exclusão
Dt_Nascimento	Existência de atributo para análise da idade (Idade_Intern).
País	99,96% dos casos correspondem a residência em Portugal, enquanto os restantes 0,02% são países PALOP e 0,02% valores omissos.
Localidade	28,6% de valores omissos e muitos valores possíveis (2.436).
Dt_Ped_Intern	Sem relevância para o estudo. Elevado número (47,9%) de valores omissos.
Dt_Internamento	Existência de atributo para análise do mês e hora (Mes_Intern e Hora_Intern).
Ano_Intern	Sem relevância para o estudo.
N_Med_Alta	Baixo número (19,1%) de valores omissos. Elevado número de níveis (156 códigos únicos de identificação de cada médico). O atributo Espec_Medica irá permitir efetuar agrupamentos por especialidades médicas associadas ao episódio de internamento.
Diag_Inicial	63% de valores omissos.
Tratamento	Atributo não conhecido no processo de admissão hospitalar do utente.
GDH	Atributo não conhecido no processo de admissão hospitalar do utente.
GCD	Atributo não conhecido no processo de admissão hospitalar do utente.
Dest_Alta	Atributo não conhecido no processo de admissão hospitalar do utente.
Hora_Alta_Intern	Atributo não conhecido no processo de admissão hospitalar do utente.
Dt_Alta_Intern	Atributo não conhecido no processo de admissão hospitalar do utente.

Foram ainda transformados alguns atributos. Para o número de internamentos anteriores e para o número de dias de internamento considerou-se o $LN(x+1)$, sendo esta transformação muito comum quando se tem uma distribuição fortemente assimétrica positiva. Foram ainda criados valores transformados para o atributo Hora Internamento pois possuía 746 níveis. O seu formato foi alterado para “HH”, obtendo no máximo 24 níveis possíveis. Também o atributo Escolaridade foi recodificado para corresponder às habilitações académicas usuais (Sem habilitações, Básico (1. Ciclo), Básico (2. Ciclo), Básico (3. Ciclo), Secundário e Superior) e foi criado o atributo Escalão Etário (<15 anos, 15 – 44 anos, 45 – 64 anos, 65 – 84 anos, e ≥85 anos). Os atributos Procedimento Principal e Diagnóstico Principal apresentavam demasiadas categorias que foram agrupadas para apresentarem menos níveis (em ambos os atributos 15 categorias que correspondem a grupos naturais de procedimentos ou diagnósticos). Por fim, um maior conhecimento da atividade hospitalar levou à criação de um novo atributo com relevância para o objetivo proposto, o Dia da Semana do

Internamento (Dia_Semana_Intern), que assume os valores de 1 (Segunda) a 7 (Domingo).

Modelação

Foram testadas diferentes técnicas de regressão, nomeadamente, AP, MR, DT, ANN, RF e SVM, que se encontram descritas pormenorizadamente em Hastie *et al.* (2008). Para analisar a validade do modelo a opção recaiu inicialmente no método de validação *holdout* que divide aleatoriamente os dados em dois conjuntos: conjunto de treino (para estimar os parâmetros do modelo, 2/3 da amostra), e o conjunto de teste (para avaliar a precisão do modelo, 1/3 da amostra). Complementou-se a análise com o método de validação cruzada *k-fold* com funcionamento semelhante ao anterior, mas os dados são divididos aleatoriamente em *k* partições de igual tamanho e em cada execução é testado um determinado subconjunto, sendo que os restantes são utilizados para treino do modelo. Definiu-

-se $k=5$, em que em cada rotação é treinado um modelo, sendo que a estimativa global do modelo é dada pelo erro médio do teste das *k* rotações. Por forma a obter-se maior robustez dos resultados realizaram-se 20 execuções de cada técnica nos dois métodos de validação (*holdout* e *5-fold*) e calcularam-se os intervalos de confiança para cada métrica de qualidade, usada na fase da avaliação dos modelos.

Avaliação

Para avaliar os diversos modelos consideraram-se três métricas de regressão: coeficiente de determinação (R^2), erro médio absoluto (MAE) e raiz do erro quadrático médio (RMSE). De facto, em problemas de regressão pretende-se escolher o modelo que estima valores mais próximos dos dados, isto é, aquele que minimiza os erros (diferença entre o valor real observado e o valor previsto pelo modelo). A Tabela 3 apresenta as expressões que permitem calcular as três métricas seleccionadas para os diferentes modelos de regressão e suas características.

Tabela 3 – Métricas seleccionadas para avaliação dos modelos de regressão

Métrica	Expressão	Características da métrica
R^2	$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$	Métrica popular por não ser expressa na unidade de medida do atributo a prever. Valores próximos de 1 traduzem melhores modelos.
MAE	$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i }{n}$	Expressa na unidade de medida do atributo a prever. Valores próximos de 0 traduzem melhores modelos.
RMSE	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$	

n: dimensão da amostra de teste; y_i : valor observado para cada indivíduo; $\hat{y}_i$: valor estimado para cada indivíduo; $\bar{y}$: valor médio do atributo a prever.

Adicionalmente compararam-se os resultados dos diversos modelos através da curva *regression error characteristics* (REC). A curva REC mostra a taxa de acerto global no eixo das ordenadas, para diversos valores de tolerância de erro absoluto no eixo das

abscissas, sendo a precisão definida como a percentagem de pontos que se encaixam dentro da tolerância.

Desta forma, analisou-se o comportamento de cada modelo em ambiente de teste de dados e verificou-se se cumpriam os objetivos de negócio.

Implementação

Apesar de os modelos obtidos terem apresentado boa qualidade, a gestão hospitalar optou por não proceder já à implementação dos mesmos por pretender desenvolver mais investigação nesta área. Por exemplo, pretende investigar uma modelação via classes e uma modelação especializada para alguns tipos de serviços (como a ortopedia).

Alguns autores consideram que se obtêm modelos com maior capacidade preditiva se o problema de previsão for um problema de classificação. Liu *et al.* (2006) consideram internamentos com duas durações, até 10 dias e mais de 10 dias, Rufino *et al.* (2012) consideram três escalões de duração, 0 a 7 dias, 7 a 14 dias e 15 a 30 dias, e outros autores definem as categorias da duração de acordo com a especialidade do hospital (Lowell & Davis, 1994). Assim, há a necessidade de avaliar a existência de ganhos com a aplicação de modelações alternativas e comparar os resultados a obter com os agora obtidos (com um modelo global para o hospital considerando o tempo de internamento numérico).

Um outro caminho passível de ser seguido pela Direção do Hospital pode incluir o desenvolvimento de um sistema CRM (*Customer Relationship Management*) em que os modelos obtidos seriam incorporados no sistema, passando, neste caso, o utente a ser o centro dos processos do negócio.

4. Análise e Discussão dos Resultados

A análise aos dados permite identificar o perfil do paciente deste hospital. Este é do sexo masculino (57,6%), com idade acima de 50 anos (metade tem 58 ou mais anos), é casado (63,4%) e possui escolaridade ao nível do 3º ciclo do ensino básico (17,9%). Os internamentos ocorreram em maior número em janeiro (10,4%) e respeitam principalmente aos serviços físicos de cirurgia (27,5%) e de especialidades (26,7%). Em média estão internados 7,14 dias (desvio-padrão=23,8 dias) e metade dos pacientes está, no máximo, internado 3 dias.

4.1. Modelo preditivo dos tempos de internamento

A avaliação das diferentes técnicas com o método *k-fold* ($k=5$) leva a concluir que o melhor modelo é o *random forest* (RF) com um coeficiente de determinação (R^2) médio de 0,813. De facto, os valores apresentados na Tabela 4 evidenciam que os melhores resultados referem-se aos três últimos modelos (ANN, RF e SVM), que apresentam maiores coeficientes de determinação e menores valores nas outras duas métricas (MAE e RMSE). Tendo-se obtido um coeficiente de determinação superior a 0,8 conclui-se que se gerou um bom modelo, com uma qualidade ao nível do muito bom.

Tabela 4 – Métricas obtidas dos testes de validação *k-fold* (*k*=5) com 20 execuções

Parametrização	Modelo	Métricas		
		R ²	MAE	RMSE
<i>K-fold</i> (5), Execuções=20	AP	0,000 ± 0,000	0,861 ± 0,000	1,085 ± 0,000
	MR	0,641 ± 0,000	0,446 ± 0,000	0,650 ± 0,000
	DT	0,622 ± 0,001	0,415 ± 0,001	0,667 ± 0,001
<i>K-fold</i> (5) Procura <i>heuristic</i> , Execuções=20	ANN	0,736 ± 0,001	0,340 ± 0,001	0,558 ± 0,001
	RF	0,813 ± 0,000	0,224 ± 0,000	0,469 ± 0,000
	SVM	0,745 ± 0,001	0,296 ± 0,001	0,547 ± 0,002

Relativamente à curva REC, à exceção do modelo AP, todos os modelos apresentam uma capacidade de previsão bastante boa, destacando-se o modelo RF, com uma curva bastante regular e superior à dos restantes modelos, sem propriamente pontos acentuados de mudança de comportamento (Figura 2). Por exemplo, se o valor de tolerância for de 0,5, a taxa de acerto para o modelo RF é de 0,854 (prevê-se acertadamente 85% dos casos). A qualidade do modelo RF é evidenciada no gráfico de dispersão *regression scatter characteristics* (RSC), que, para um dado valor da tolerância, representa no eixo das abcissas os valores observados e no eixo das ordenadas os valores previstos (Figura 3). Constatase que a maioria dos pontos se situa próximo da diagonal, pelo que se tem um bom modelo de previsão (os pontos dentro duma tolerância de 0,5 estão representados no gráfico pela cor preta). Assim, para uma tolerância de 0,5, o erro máximo é de 0,7 dias, para o extremo inferior da escala (0), e de aproximadamente 26 dias, no extremo superior da escala (4,2).

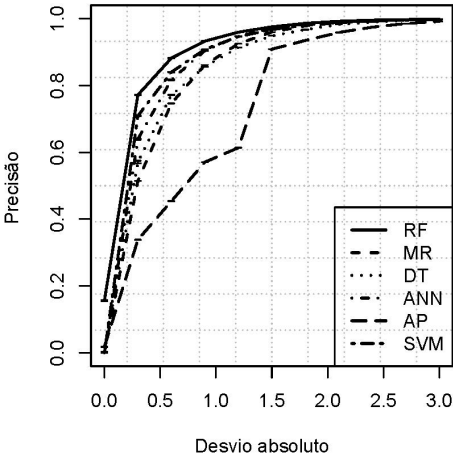


Figura 2 - Curva REC dos modelos gerados

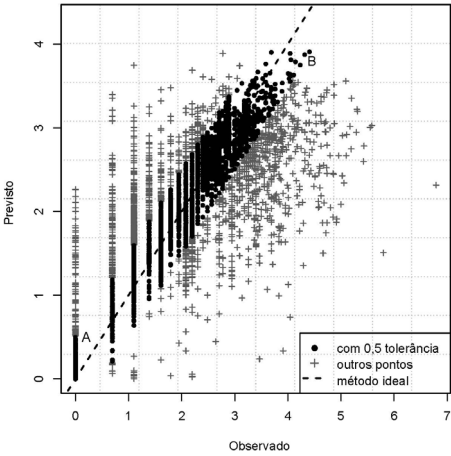


Figura 3 - RSC do modelo RF

4.2. Atributos explicativos do tempo de internamento

Para avaliar a importância relativa de cada atributo explicativo no melhor modelo obtido e também para caracterizar a sua relação com o número de dias de internamento recorreu-se a uma análise de sensibilidade (Cortez e Embrechts, 2013), em que graficamente se representam os valores observados para o atributo explicativo

(eixo das abcissas) e os valores previstos pelo modelo para o tempo de internamento (eixo das ordenadas). Os três atributos que contribuem em mais de 10% para a capacidade explicativa do modelo gerado estão relacionados com a situação clínica do paciente (Tabela 5). O Tipo de Episódio de Internamento é o atributo que mais explica (30,6%), sendo seguido pelos atributos Serviço de Internamento (12,3%) e Especialidade Médica (10,1%).

Tabela 5 – Importância relativa dos atributos explicativos no modelo RF

Atributo	Importância	Atributo	Importância
T_Episod_Intern	0,306	Hora_Intern	0,033
Serv_Intern	0,123	T_Episod_Origem	0,025
Espec_Medica	0,101	Est_Civil	0,037
Proc_Principal	0,086	LG_N_Intern_Anterior	0,061
Idade_Intern	0,031	DiaSemana_Intern	0,029
Diag_Principal	0,067	Mes_Intern	0,017
Escolaridade	0,058	Sexo	0,024

Tal como esperado um episódio de internamento em regime de ambulatório corresponde a um número médio de dias de internamento baixo (0,1 dias, correspondendo a 0,1 na escala de transformação logarítmica), quando comparado com um episódio em regime de internamento, em que o tempo médio de estadia no hospital é mais elevado (3,9 dias, correspondendo a 1,58 na escala transformada).

Relativamente ao serviço de internamento (Figura 4) verifica-se um maior número de dias de estadia no internamento do serviço de medicina com um valor estimado de 3,3 dias (1,45 na escala de transformação logarítmica), seguindo-se o serviço de ortopedia com um valor estimado de 3 dias (1,39 na escala de transformação logarítmica). Os serviços com menos dias de internamento estão relacionados com cirurgias plásticas (menos de 2 dias).

Em relação à especialidade médica (Figura 5) a medicina interna destaca-se como sendo a especialidade com bastante mais tempo de internamento (média de 4,2 dias, correspondendo a 1,64 na escala de transformação logarítmica), seguida pela especialidade de ortopedia (média de 3,5 dias, correspondendo a 1,50 na escala transformada). Com bastante menos tempo de internamento identificam-se as especialidades de oftalmologia e otorrinolaringologia (médias inferiores a 2,7 dias).

Os resultados encontrados para os atributos mais importantes na explicação do tempo de internamento confirmam os resultados encontrados em outros estudos. Por exemplo, os atributos Tipo de Episódio de Internamento (Castillo, 2012; Freitas *et al.*, 2012), Serviço de Internamento (Castillo, 2012), Especialidade Médica (Azari *et al.*, 2012; Sheikh-Nia, 2012) e Procedimento Principal (Abelha *et al.*, 2007; Castillo, 2012).

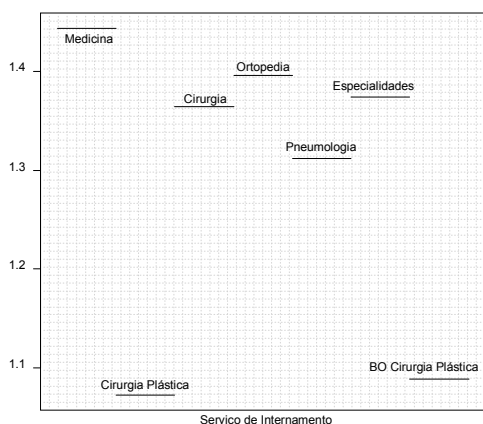


Figura 4 – Influência do serviço de internamento no tempo de internamento

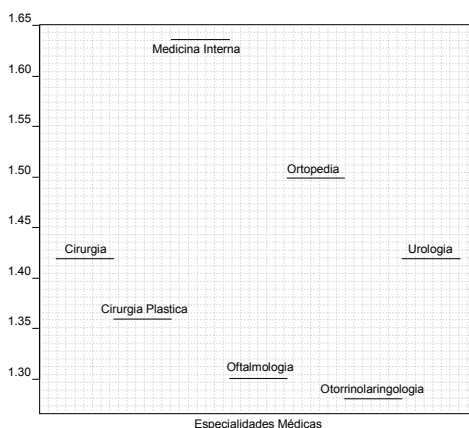


Figura 5 – Influência da especialidade médica no tempo de internamento

Por outro lado, tendo o Hospital das Forças Armadas a função de dar apoio médico aos militares no ativo, na reserva, ou na reforma, e aos seus familiares, bem como a doentes de outros subsistemas de saúde (como, por exemplo, a ADSE) com os quais o hospital tem acordos, e sendo um hospital com valências iguais ou similares às de outros hospitais (bloco operatório, urgência básica, serviços de internamento médico e cirúrgico, várias especialidades médicas, entre outras, gastroenterologia, cirurgia vascular, neurocirurgia, cirurgia plástica, oftalmologia e urologia), o perfil de doente não difere muito do de outros hospitais com características semelhantes. Este hospital apenas tem um acesso a consultas mais restrito do que em outros hospitais públicos. Assim, os resultados obtidos podem, de certa forma, ser utilizados por outros hospitais para uma melhor gestão dos seus recursos.

5. Conclusões

As técnicas de *data mining* têm vindo a ser utilizadas com sucesso em diversas áreas de negócio. A sua utilização no sector da saúde para previsão de tempos de internamento em hospitais, uma das atividades mais desafiantes para os gestores hospitalares, revelou, neste estudo, ser um sucesso. De facto, tendo por base uma grande amostra de episódios de internamentos, relativos a um hospital português, foi possível obter um modelo de apoio à decisão, baseado no algoritmo *random forest*, com boa qualidade, ou seja, que garante erros médios de previsão relativamente baixos. Este processo de descoberta de conhecimento foi guiado pela metodologia CRISP-DM e foram utilizadas ferramentas computacionais *open source*, nomeadamente a biblioteca *rminer* do ambiente R.

O modelo selecionado apresenta um coeficiente de determinação de 0,81, valor bastante superior aos 0,5 ou 0,6 tidos como valores mínimos aceitáveis em modelos de previsão, e que pode prever corretamente em 85% dos casos. O modelo permitiu igualmente identificar os atributos clínicos, em detrimento dos atributos sociodemográficos dos pacientes, como os mais importantes na previsão dos tempos de

internamento. Destacaram-se o Tipo de Episódio de Internamento, o Serviço de Internamento, e a Especialidade Médica.

O modelo de previsão obtido é um incentivo para as instituições hospitalares apostarem numa melhoria da eficiência dos seus processos internos e na extração de informação útil para apoiar a tomada de decisão. Só com bons modelos, que permitam reduzir os tempos de internamento (evitando, por exemplo, tempos de internamento prolongados) e melhor gerir o plano operativo do Bloco Operatório Principal e, consequentemente, aumentar as camas disponíveis para novos internamentos, se consegue reduzir as listas de espera (e melhor informar o doente quanto ao tempo de espera para uma cirurgia) e, assim, prestar melhores cuidados de saúde aos cidadãos. Paralelamente consegue-se uma gestão dos recursos mais eficaz e eficiente que se traduz numa redução dos custos hospitalares, ao permitir, por exemplo, uma melhor gestão de recursos humanos dos serviços de internamento (algumas especialidades médicas evidenciam valores superiores de ocupação nos seus serviços), quer através de um melhor planeamento das férias, quer na planificação da contratação temporária de pessoal.

Por outro lado, a metodologia CRISP-DM permitiu aos responsáveis do hospital escalonar as diversas atividades para obtenção do resultado final e obrigou-os a pensar o negócio, o que por si só é uma mais-valia da metodologia adotada. O decorrer do estudo, com o envolvimento de um painel de especialistas e de gestores do Hospital das Forças Armadas, revelou que o quadro geral da gestão hospitalar, em especial o relacionado com o processo de internamento, mostra a necessidade de um novo e atual processo de planeamento nesta área.

O modelo gerado pode vir a ser integrado num sistema de apoio à decisão e constituir-se como um elemento de precioso auxílio à área de negócio hospitalar, permitindo a otimização, gestão e rentabilização dos serviços de internamento. No futuro, outras técnicas de *data mining* poderão ser utilizadas, explorando mais atributos explicativos, nomeadamente os ligados à caracterização sociodemográfica dos pacientes, incluindo, entre outros, a classe social e o esquema de pagamento (existência de seguro de saúde ou a obtenção de crédito à saúde) e o número de elementos do seu agregado familiar.

Ao nível da investigação importa testar o modelo desenvolvido com dados de outro hospital português (por exemplo, com dados do antigo Hospital Militar Principal) para verificar se este continua válido. De referir que existe alguma evidência de que o tempo médio de internamento varia consideravelmente de país para país e até dentro do mesmo país de hospital para hospital. Por exemplo, Tiessen *et al.* (2013) comparam os tempos de internamento de dois hospitais japoneses, país com mais tempo de internamento na OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico), com os tempos de dois hospitais canadianos, país com tempo médio de internamento próximo da média da OCDE, e apontam que as diferenças se devem não a fatores clínicos dos pacientes, mas sim a fatores relacionados com normas profissionais ou culturais, esquemas de pagamento diferenciados e acesso a cuidados de saúde de longo prazo. Dentro do mesmo país a grande variabilidade nos tempos de internamento entre hospitais deve-se às características demográficas e/ou clínicas dos seus pacientes e/ou ao próprio ambiente hospitalar onde o paciente é tratado.

Referências

- Abelha, F., Maia, P., Landeiro, N., Neves, A. & Barros, H. (2007). Determinants of outcome in patients admitted to a surgical intensive care unit. *Arquivos de Medicina*, 21(5/6), 135-143.
- Azari, A., Janeja, V. P. & Mohseni, A. (2012). Predicting hospital length of stay (PHLOS): A multi-tiered data mining approach. 2012 IEEE 12th International Conference on Data Mining Workshops, 17-24.
- Brown, M. L. & Kros, J. F. (2003). Data mining and the impact of missing data. *Industrial Management & Data Systems*, 103(8), 611-621
- Castillo, M. G. (2012). Modelling Patient Length of Stay in Public Hospitals in Mexico. Doctoral Thesis, School of Management Southampton: University of Southampton.
- Clifton, C., & Thuraisingham, B. (2001). Emerging standards for data mining. *Computer Standards & Interfaces*, 23(3), 187-193.
- Cortez, P. (2010). Data mining with neural networks and support vector machines using the R/rminer tool. In P. Perner (Ed.), *Advances in Data Mining - Applications and Theoretical Aspects*, 10th Industrial Conference on Data Mining (ICDM 2010), LNAI 6171, 572-583.
- Cortez, P., & Embrechts, M. (2013). Using sensitivity analysis and visualization techniques to open black box data mining models. *Information Sciences*, 225, 1-17.
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). The KDD process for extracting useful knowledge from volumes of data. *Communications of the ACM*, 39(11), 27-34.
- Ferreira, C., Fernandes, H., Alves, V., & Santos, M. Y. (2006). O data mining na compreensão do fenómeno da dor: uma proposta de aplicação. *Conferência Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 1-15.
- Freitas, A., Silva-Costa, T., Lopes, F., Garcia-Lema, I., Teixeira-Pinto, A., Bradzil, P. & Costa-Pereira, A. (2012). Factors influencing hospital high length of stay outliers. *BMC Health Services Research*, 12(265), 1-10.
- Han, J., & Kamber, M. (2001). *Data Mining: Concepts and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Hastie, T., Tibshirani, R. & Friedman, J. (2008). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, 2nd Edition, NY: Springer-Verlag.
- Kalra, A. D., Fisher, R. S., & Axelrod, P. (2010). Decreased length of stay and cumulative hospitalized days despite increased patient admissions and readmissions in an area of urban poverty. *Journal of General Internal Medicine*, 25(9), 930-935
- KDnuggets (2007). KDnuggets Polls: Data Mining Methodology (Aug 2007). www.kdnuggets.com [acedido em 28 de março de 2013].

- Lee, T.-T., Liu, C.-Y., Kuo, Y.-H., Mills, M. E., Fong, J.-G., & Hung, C. (2011). Application of data mining to the identification of critical factors in patient falls using a web-based reporting system. *International Journal of Medical Informatics*, 80(2), 141-150.
- Liu, P., Lei, L., Yin, J., Zhang, W., Naijun, W. & El-Darzi, E. (2006). Healthcare data mining: Prediction inpatient length of stay. 3rd International IEEE Conference Intelligent Systems, 832-837.
- Liu, V., Kipnis, P., Gould, M. K. & Escobar, G. (2010). Length of stay predictions: improvements through the use of automated laboratory and comorbidity variables. *Medical Care*, 48(8), 739-744.
- Lowell, W. E. & Davis G. E. (1994). Predicting length of stay for psychiatric diagnosis-related groups using neural networks. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 1(6), 459-466.
- Merom, D., Shohat, T., Harari, O., Meir, G., & Green, M. S. (1998). Factors associated with inappropriate hospitalization days in internal medicine wards in Israel: a cross-national survey. *International Journal for Quality in Health Care*, 10(2), 155-162.
- Oliveira, A. B., Dias, O. M., Mello, M. M., Araújo, S., Dragosavac, D., Nucci, A. & Falcão, A. L. (2010). Fatores associados à maior mortalidade e tempo de internação prolongado em uma unidade de terapia intensiva de adultos. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, 22(3), 250-256.
- Pena, F. M., Soares, J. S., Peixoto, R. S., Júnior, H. R., Paiva, B. T., Moraes, F. V., Engel, P. C., Gomes, N. C. & Pena, G. S. (2010). Análise de um modelo de risco pré-operatório específico para cirurgia valvar e a relação com o tempo de internação em unidade de terapia intensiva. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, 22(4), 339-345.
- Rufino, G. P., Gurgel, M. G., Pontes, T. d. & Freire, E. (2012). Avaliação de fatores determinantes do tempo de internação em clínica médica. *Revista Brasileira Clínica Médica*, 10(4), 291-297.
- Santos, M., & Portela, F. (2011). Enabling ubiquitous data mining in intensive care: features selection and data pre-processing. *ICEIS 2011 - 13th International Conference on Enterprise Information Systems*, 261-266.
- Sheikh-Nia, S. (2012). An Investigation of Standard and Ensemble Based Classification Techniques for the Prediction of Hospitalization Duration. Tese de Mestrado. University of Guelph, Guelph.
- Suthummanon, S., & Omachonu, V. K. (2004). DRG-based cost minimization models: Applications in a hospital environment. In R. I. Field (Ed.), *Health Care Regulation in America: Complexity, Confrontation, and Compromise*, 3, 197-205.
- Tanuja. S., Acharya, U. D. & Shailesh, K. R. (2011). Comparison of different data mining techniques to predict hospital length of stay. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 7(7).

- Tiessen, J., Kambara, H., Sakai, T., Kato, K., Yamauchi, K. & McMillan, C. (2013). What causes international variations in length of stay: A comparative analysis for two impatient conditions in Japanese and Canadian hospitals. *Health Services Management Research*, 26(2-3), 86-94.
- Tsumoto, S., & Hirano, S. (2010). Risk mining in medicine: Application of data mining to medical risk management. *Fundamenta Informaticae*, 98(1), 107-121.
- Walczak, S., Scorpio, R. J. & Pofahl, W. E. (1998) Predicting hospital length of stay with neural networks. *Eleventh International FLAIRS Conference*, 333-337.
- Zan, C. & Miller, M. R. (2003). Excess length of stay, charges, and mortality attributable to medical injuries during hospitalization. *JAMA*, 290(14), 1868-1874.

Crítérios Editoriais

A RISTI (Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação) é um periódico científico, propriedade da AISTI (Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação), que foca a investigação e a aplicação prática inovadora no domínio dos sistemas e tecnologias de informação.

O Conselho Editorial da RISTI incentiva potenciais autores a submeterem artigos originais e inovadores para avaliação pelo Conselho Científico.

A submissão de artigos para publicação na RISTI deve realizar-se de acordo com as chamadas de artigos e as instruções e normas disponibilizadas no sítio Web da revista (<http://www.aisti.eu>).

Todos os artigos submetidos são avaliados por um conjunto de membros do Conselho Científico, não inferior a três elementos.

Em cada número da revista são publicados entre cinco a oito dos melhores artigos submetidos.

Criterios Editoriales

La RISTI (Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información) es un periódico científico, propiedad de la AISTI (Asociación Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información), centrado en la investigación y en la aplicación práctica innovadora en el dominio de los sistemas y tecnologías de la información.

El Consejo Editorial de la RISTI incentiva autores potenciales a enviar sus artículos originales e innovadores para evaluación por el Consejo Científico.

Lo envío de artículos para publicación en la RISTI debe hacerse de conformidad con las llamadas de los artículos y las instrucciones y normas establecidas en el sitio Web de la revista (<http://www.aisti.eu>).

Todos los trabajos enviados son evaluados por un número de miembros del Consejo Científico de no menos de tres elementos.

En cada número de la revista se publican cinco a ocho de los mejores artículos enviados.

Chamada de Artigos

Encontra-se aberto até 5 de Outubro de 2014 o período de envio de artigos para o décimo quarto número da RISTI (Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação), o qual será publicado durante o próximo mês de Dezembro de 2014.

Este número é dedicado à Representação e Gestão de Conhecimento e pretende integrar contribuições originais e relevantes nas diferentes dimensões e vertentes desta temática. Os tópicos recomendados incluem os listados abaixo. No entanto, também serão bem-vindos outros tópicos relacionados com estas temáticas mas aqui não incluídos:

- Representação de conhecimento nos sistemas de informação;
- Ontologias e Linked Data;
- Técnicas de aquisição de conhecimento;
- Mineração de dados;
- Técnicas de visualização de dados e conhecimento;
- Uso de conhecimento para a tomada de decisões;
- Sistemas inteligentes para a tomada de decisão;
- Aproximações da Engenharia de Conhecimento à Engenharia de Software;
- Gestão de processos e de Workflows;
- Uso de técnicas de representação de conhecimento para a gestão de sistemas;
- Métodos de gestão de conhecimento e de sistemas de informação.

Os artigos devem ser escritos em Português ou Espanhol. Para informações sobre dimensão, normas de formatação e processo de submissão, agradecemos a consulta do Portal da AISTI: <http://www.aisti.eu>

Llamada de Artículos

Se encuentra abierto hasta al día 5 de Octubre de 2014 el período de envío de artículos para el décimo primero número de la RISTI (Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información), el cual será publicado durante el próximo mes de Diciembre de 2014.

Este número se dedica a la Representación y Gestión del Conocimiento. Pretende integrar contribuciones originales y relevantes en las diferentes dimensiones y aspectos de este tema. Los asuntos recomendados incluyen los abajo listados, pero también serán bienvenidos otros asuntos relacionados con la temática y aquí no incluidos:

- Representación del conocimiento en los sistemas de información;
- Ontologías y Linked Data;
- Técnicas de adquisición del conocimiento;
- Minería de datos;
- Técnicas de visualización de datos y conocimiento;
- Uso del conocimiento para la toma de decisiones;
- Sistemas inteligentes para la toma de decisiones;
- Aproximaciones de la Ingeniería del Conocimiento a la Ingeniería del Software;
- Gestión de procesos y Workflows;
- Uso de técnicas de representación del conocimiento para la gestión de sistemas;
- Métodos de gestión del conocimiento y sistemas de información.

Los artículos deben ser escritos en portugués o español. Para obtener información sobre longitud, reglas de formato y proceso de envío, por favor consulte el Portal de la AISTI: <http://www.aisti.eu>

Os asociados da AISTI recebem a RISTI gratuitamente, por correio postal. Torne-se associado da AISTI. Preencha o formulário abaixo e envie-o para o e-mail aisti@aisti.eu

Los asociados de la AISTI reciben la RISTI por correo, sin costo alguno. Hazte miembro de la AISTI. Rellena el siguiente formulario y remítelo al e-mail aisti@aisti.eu



Formulário de Associado / Formulario de Asociado

Nome/Nombre: _____

Instituição/Institución: _____

Departamento: _____

Morada/Dirección: _____

Código Postal: _____ Localidade/Localidad: _____

País: _____

Telefone/Teléfono: _____

E-mail: _____ Web: _____

Tipo de Associado e valor da anuidade:

☐ Individual - 25€

☐ Instituição de Ensino ou I&D/Institución de Educación o I&D - 250€

☐ Outro (Empresa, etc.) - 500€

NIF/CIF: _____

Data/Fecha: ____/____/____ Assinatura/Firma: _____



Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação



Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información

Apoio



ACADEMY PUBLISHER
<http://www.academypublisher.com/>