

High-Level Language to Specify an Adaptive Heart Failure Follow-up Expert System

R. Olivares, G. Silvera, P. Álvarez-Rocha, C. Taramasco, G. Ormaechea, and F. Simini

Abstract—El autocuidado de pacientes que sufren insuficiencia cardíaca (IC) es de suma importancia para mantener una buena calidad de vida. Sin embargo, el sistema de salud no cuenta con los recursos necesarios para dedicar personal al seguimiento de poblaciones crecientes de enfermos cardíacos. Además, las recomendaciones del personal tratante son específicas para cada paciente. El Sistema Informático de Manejo de la Insuficiencia Cardíaca (SIMIC) es una respuesta automatizada que optimiza el trabajo del personal de salud, realizando el seguimiento proactivo de acuerdo a rutinas clínicas recomendadas y alertando solamente en caso de necesidad real de contacto paciente/médico. En este trabajo, se presenta el diseño de un sistema experto (SE) expresado mediante un conjunto de reglas. Reglas cuya complejidad y variedad de formas adquieren el formalismo de un lenguaje de alto nivel. Esto le confiere características de facilidad de mantenimiento y de evolución conceptual, inexistentes en las reglas de producción clásicas de un SE. Para expresar las rutinas clínicas y para poner en práctica en forma automática las conductas médicas y nutricionales de seguimiento de la IC, se acude al formalismo del lenguaje propuesto. Esta estrategia será implementada en la plataforma SIMIC, cuyo potencial de uso parece claro en países que ingresan a la transición epidemiológica hacia el envejecimiento de sus poblaciones.

Palabras claves— Autocuidado Insuficiencia Cardíaca, Lenguaje de Alto Nivel, Sistema Experto.

I. INTRODUCCIÓN

PARA usar una base de conocimiento como instrumento de ayuda al autocuidado, es necesario que el paciente comprenda claramente, su rol en el ambiente de salud al que pertenece. Actualmente, los pacientes que sufren IC son atendidos por un médico tratante, quien determina su qué hacer fuera de la consulta médica, e intenta mejorar su calidad de vida. Este qué hacer, generalmente, suele ser un conjunto de actividades, determinadas bajo dos principios: criterios de evaluación estándar e inspección de situación [1]. Es sabido que los pacientes, aun cuando sufren la misma patología, tienen características y necesidades diferentes, por lo que una recomendación estándar tiene a lo sumo, un alcance limitado. La atención personal del médico que se dedica a su paciente, permite trascender los límites de lo standard, dándole la posibilidad de una medicina de calidad. El objetivo de la buena Medicina es por lo tanto lograr una comunicación significativa entre Médico y Paciente tomando como base los lineamientos clínicos recomendados [3].

En este contexto, mejorar la calidad de vida de los pacientes que sufren IC es una la mayor preocupación, que requiere un esfuerzo constante y compartido y, aun así, en muchos casos puede resultar infructuoso. El resultado se aleja de lo óptimo si cualquiera de los actores no desarrolla un compromiso fiel, acorde a sus responsabilidades. En consecuencia, el seguimiento de pacientes a distancia, manteniendo la calidad y oportunidad del trabajo frecuente y adecuado, sería extremadamente útil. Se podría tender a obtener para grandes poblaciones el mismo nivel de calidad de atención médica que el de un seguimiento personalizado dedicado y competente. Si se lograra mantener una comunicación bidireccional con el paciente no presencial, y si esta comunicación incluyera la capacidad de detectar alejamientos de lo esperado, la telemática haría un porte sustantivo a la salud pública.

Es inviable pensar que cada paciente pueda tener asignado un médico tratante en todo momento (full-day). Sin embargo, es necesario verificar que los pacientes cumplan las recomendaciones de estilo de vida, medicación y auto-cuidado o que sean por lo menos, recordadas. En este sentido, el Sistema Informático de Manejo de la Insuficiencia Cardíaca (SIMIC) [5] es una plataforma que permite recordarle al paciente las

Los autores agradecen el apoyo brindado por Stic-Amsud, en la ejecución del Proyecto e-Monitor (17STIC-03), al Núcleo de Ingeniería Biomédica (NIB) de las Facultades de Medicina e Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay, a la Unidad Multidisciplinaria de Insuficiencia Cardíaca (UMIC) del Hospital de Clínicas de la República Oriental del Uruguay, al centro de investigación e innovación en Tecnológica de Información y Comunicación Para Verticales ICT4V, a la Universidad de Valparaíso y a la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

R. Olivares y C. Taramasco son Profesores de la Universidad de Valparaíso, General Cruz 222, Valparaíso Chile. rodrigo.olivares@uv.cl y carla.taramasco@uv.cl

G. Silvera, P. Álvarez-Rocha, y G. Ormaechea son académicos de la Facultad de Medicina y desarrollan su actividad docente/asistencial en la Unidad Multidisciplinaria de Insuficiencia Cardíaca (UMIC) del Hospital de Clínicas, de la República Oriental del Uruguay. gabasilvera@gmail.com palvarezrocha@gmail.com gabiorma@gmail.com

F. Simini es Coordinador del Núcleo de Ingeniería Biomédica (NIB) de las Facultades de Medicina e Ingeniería de la Universidad de la República Oriental del Uruguay. simini@fing.edu.uy

recomendaciones de su médico y mantener alertado al equipo de salud solamente en ocasión del apartamiento significativo de lo estipulado.

El encapsulamiento de situaciones aceptables libera de esta forma al sistema sanitario para que pueda dedicarse a los casos que ameritan dedicación concreta, urgente y específica.

En este trabajo se propone el diseño de un sistema experto basado en instrucciones lógicas que actúen de intermediario entre las recomendaciones clínicas, descritas por el médico tratante, y la máquina de SIMIC que implementa el seguimiento de acuerdo a la receta en tal sentido del médico tratante para cada paciente. La variedad de situaciones personales y la búsqueda de calidad en el seguimiento, hace que no sea aceptable una lista de recomendaciones como se usa en el momento actual. Es necesario darle a la herramienta de Informática Médica un grado de autonomía tal que se pueda ver, ajustar, documentar y modificar el conjunto de reglas formales de origen clínico, nutricional y de estilo de vida. Para ello es que se ha decidido convertir las instrucciones en un lenguaje de alto nivel, que sean tomadas como entidades de código fuente, interpretados luego por el “motor de inferencias” de SIMIC. Proponemos usar un sistema experto basado en reglas formales que permita la interacción médico-paciente, sin la necesidad de adquirir competencias de programación. El esfuerzo de construcción formal aquí presentado, sigue el enfoque de los procesadores de lenguaje natural, de análisis léxico y de compiladores [11][12].

En la Sección 2, se presenta el marco teórico de la investigación, los trabajos relaciones y los actuales avances en tecnología para la salud y calidad de vida. La Sección 3 describe el contexto del problema y el impacto social involucrado. La Sección 4 expone el detalle del sistema experto basado en reglas formales. La Sección 5 muestra el desarrollo de las reglas formales y la integración en la plataforma SIMIC. Finalmente, la discusión y las conclusiones están descritas en la Sección 6.

II. DIMENSIONES DEL SEGUIMIENTO

La complejidad del seguimiento del enfermo de insuficiencia cardíaca es tal que las buenas prácticas son difícilmente observadas en la realidad asistencial actual. Por un lado, el paciente y su familia están transcurriendo su vida, con una actitud de acato o prescindencia de las recomendaciones médicas recibidas en la última consulta. Las consultas a su vez pueden estar espaciadas en el tiempo debido al ritmo de vida del grupo familiar y al acostumbamiento paulatino a las limitaciones crecientes que acompañan la enfermedad [1][2]. Del lado del sistema de salud, el seguimiento de cada paciente supone un esfuerzo arduo por las dificultades de comunicación que paradójicamente acompaña el aumento de los medios de comunicación personales.

El seguimiento de la insuficiencia cardíaca es

secundario de las publicaciones especializadas que recomiendan la evaluación de muchas dimensiones de la vida de la persona [3][4][17]. Desde su alimentación, estilo de vida, y aspectos psicológicos, hasta aspectos físicos bajo forma de signos. Toda esta información es clave en la consulta siguiente, cuyo momento puede darse luego de un intervalo a veces muy prolongado.

En este contexto definimos diversas dimensiones para el seguimiento de pacientes con IC. Éstas reflejan la riqueza de aspectos cotidianos que vive un paciente y que complementa la información del registro clínico, generando así un nuevo modelo de atención en el cual se integra al paciente como actor involucrado en su propio cuidado. Estas dimensiones están compuestas por variables que serán ingresadas de manera voluntaria en un intervalo de tiempo personalizado dependiendo de las necesidades clínicas del paciente.

En la Tabla 1 se despliegan las posibles dimensiones que rinden cuenta de la complejidad del seguimiento de la IC. Cada dimensión comprende un conjunto de variables a registrar tanto por parte del equipo clínico como por parte del paciente. Ninguna de las variables constituye una dimensión por sí sola. En ciertas situaciones, se podrán definir nuevas dimensiones y variables en el contexto de seguimiento.

Por un lado, la identidad del paciente es tomada desde el servicio público *salud.uy* [20] que provee la unicidad de los usuarios del sistema de salud. Por otro lado, los datos patronímicos son heredados del conjunto mínimo de datos, también disponibles en *salud.uy*.

En el ámbito de una dimensión, las variables se combinan para permitir ahondar en el conocimiento y seguimiento de esa dimensión, como por ejemplo la dimensión física o de adherencia al tratamiento. SIMIC, permite además, definir cruces o relaciones entre variables de distintas dimensiones, enriqueciendo el seguimiento, para un mayor interés clínico.

Por otra parte, proponemos un conjunto de vistas de dos o más variables, tales como la evolución de la nutrición sobre el tiempo, la variación de peso en el tiempo o peso y actividad física, con el fin de aportar conocimiento para las recomendaciones clínicas.

III. SISTEMA EXPERTO

En el ámbito de la inteligencia artificial (AI), un SE imita la capacidad de toma de decisiones propia de un humano experto [6][7]. El conocimiento humano es codificado en reglas de producción que son encadenadas por un motor de inferencia que produce veredictos y conclusiones deduciéndolos de valores de las variables de entrada al mismo SE.

A. Estructura de un SE

Según Crosan y Abraham [8], los SE basados en reglas formales representan el conocimiento en términos de un conjunto de reglas declarativas que dicen qué hacer o qué

concluir en diferentes situaciones. La Figura 1 muestra una arquitectura simplificada de este enfoque.

La estructura de SE incluye los siguientes elementos [8][9][10]:

- **Base de Conocimientos (Knowledge Base):** comprende los conocimientos del dominio del problema, incluyendo sus interacciones. La base comprende reglas lógicas, o “reglas de producción”, de tipo IF-THEN.
- **Database:** contiene describe los hechos del predicado que coinciden con las reglas IF-THEN de las reglas del *knowledge base*.
- **Inference Engine:** utiliza todos los procesos que manipulan la base de conocimiento para deducir la información solicitada por el usuario. Esta respuesta lleva a un razonamiento requerido por el sistema experto, para llegar a una solución o conclusión.
- **Explanation subsystem:** analiza la estructura del razonamiento desarrollado por el sistema experto y lo presenta de manera entendible para el usuario. En este punto, el usuario es capaz de consultar a los sistemas expertos la forma de llegada de la información y las conclusiones proporcionadas.
- **User interface:** este componente es el encargado de mediar entre el usuario y el sistema experto. Es una capa lógica de interacción humano-computador.
- **Knowledge engineer:** generalmente, es un científico de la computación con formación en AI que trabaja con expertos en el campo de la aplicación. Su principal actividad es representar el conocimiento de manera formal, para ser incorporadas a *knowledge base*.
- **Knowledge acquisition subsystem:** componente que se dedica a comprobar y actualizar posibles inconsistencias de información.

Los sistemas expertos basados en reglas formales han sido utilizados para realizar análisis lexicográficos, compiladores, intérpretes y procesamiento de lenguaje natural, entre otras aplicaciones [11][12].

B. Reglas formales para el seguimiento de pacientes en SIMIC

Los pacientes que padecen insuficiencia cardíaca son descritos por la Unidad que los trata, de acuerdo a un conjunto de variables que incluyen la edad, la gravedad (leve, intermedia y grave), la frecuencia de control domiciliario o en policlínica y diversas expresiones del peso corporal, como se detalla en la Tabla 1. Algunas de estas variables son objetivas y otras son asignadas subjetivamente por el médico tratante.

Con la relación de variables identificadas en las dimensiones de la Tabla 1, construimos un conjunto de reglas asociadas a las instrucciones formales de las alertas para el sistema sanitario (GM) y al monitoreo o control de

las actividades del paciente (GP). Para los hechos o acontecimientos pertenecientes a cada grupo, utilizaremos el símbolo F_i , donde $i = \{1, \dots, n\}$, siendo n la totalidad de los hechos. Las reglas, por otra parte serán descritas utilizando R_j , donde $j = \{1, \dots, m\}$, siendo m el total de reglas.

GP.F1: (Recordatorio de uso de SIMIC) *Alertar al paciente para que utilice regularmente la plataforma SIMIC, donde registrar datos de su situación.*

R1: P.reportoATiempo es TRUE

R2: IF P.CT es 1
THEN P.proximoReporte = Sistema.FechaActual + .

R3: IF P. CT es 2
THEN P.poximoReporte = Sistema.FechaActual + .

R4: IF P. CT es 3
THEN P.proximoReporte = Sistema.FechaActual + .

R5: IF Sistema. FechaActual > P.proximoReporte es TRUE
THEN P.reportoATiempo es FALSE

R6: IF P.reportoATiempo es FALSE
THEN P.alertar es TRUE

En este hecho es importante destacar la variabilidad de control que le entrega el sistema al paciente. La alertada (**R6**) sólo se realizará en el caso cuando no reporte a tiempo. Sin embargo, esta regla depende de cuándo será su próximo reporte (**R5**) que a su vez, es desencadenada por las reglas **R2**, **R3**, y **R4**, según corresponda la evaluación de categorización de riesgo del paciente. Por ejemplo, si el paciente es categorizado 2 (**P.CT es 2**), su próximo aviso de reporte está dado por el momento actual (**Sistema.FechaActual**) más un delta de tiempo. Este delta es no determinista, dado que de los 7 días rigurosos, existe una variación (distribución aleatoria uniforme) de entre -4 y 4 días, por lo que puede ser alertado en un tiempo mínimo de 3 y un máximo de 11 días.

GM.F2: (Posible Drop Out) *Alertar al sistema de salud que el paciente que utiliza regularmente la plataforma, no ha registrado información en el lapso que le corresponde.*

R1: IF P.CT es 1
THEN P.proximoReporte = Sistema.FechaActual + .

R2: IF P.CT es 2
THEN P.proximoReporte = Sistema.FechaActual + .

R3: IF P.CT es 3
THEN P.proximoReporte = Sistema.FechaActual + .

R4: IF P.proximoReporte – P.ultimoReporte < Sistema.FechaActual – P.ultimoReporte es TRUE
THEN M.alertar es TRUE

Para GM.F2, la alerta será activada si el paciente no reporta su información a tiempo. Similar a lo que ocurre en GP.F1, este hecho describe una cadena de consecuencias que serán visualizadas por el médico tratante o el servicio sanitario, si el paciente no proporciona información.

GM.F2: (Alejamiento del rango de peso esperado) *Alertar al sistema de salud si el paciente informa variación significativa de peso fuera de los umbrales mínimo o máximo del peso seco, y en la dirección de alejamiento del peso ideal.*

R1: M.alertar es FALSE

R2: IF (P.PA > P.PP) es TRUE
AND (P.PA > P.PSmax) es TRUE
THEN M.alertar es TRUE

R3: IF (P.PA < P.PP) es TRUE
AND (P.PA < P.PSmin) es TRUE
THEN M.alertar es TRUE

GM.F2 se aprecia como la regla más simple, pero sin dudas es la de mayor potencial. Se inicializa la salida como que no se realizarán alertas al servicio de salud o médico tratante (**R1**), sin embargo, esto cambiará a medida que avance la evidencia analizada en la regla.

Luego, en **R2**, si el peso previo del paciente (**P.PP**) es inferior a su peso actual (**P.PA**) por más de la tolerancia estipulada en la definición del peso seco, se comprueba si, efectivamente, el peso actual es superior al peso seco máximo determinado (**P.PSmax**). Si estas dos proposiciones son verdaderas, el paciente habrá reportado un alza en su peso y, por consiguiente, el sistema decide que se debe alertar al médico tratante.

Por otra parte, **R3** expone que si el peso anterior del paciente es superior a su peso actual, se debe revisar si su peso actual es inferior a al peso seco mínimo definido (**P.PSmin**). Nuevamente, si estas dos proposiciones son verdaderas, el sistema decide alertar al médico, dado se está en presencia de una baja de peso. Algunos trabajos sobre el cálculo del peso seco pueden ser vistos en detalle en [14] y [15].

Todas las otras combinaciones posibles de reglas no son relevantes para ser reportadas, dado que no existen variaciones de alza o baja, fuera del peso seco y en la dirección del mejoramiento de la situación. La Figura 2 ilustra el detalle del hecho **GM.F2**, con sus reglas.

IV. IMPLEMENTACIÓN

Se realiza la implementación de las reglas con ANTLR 4 y Eclipse IDE Oxygen 2 [13] utilizando el lenguaje Java. En una primera etapa, se definieron las palabras reservadas (*tokens*) del sistema experto, luego las reglas sintácticas, las reglas semánticas, para finalmente, la implementación del generador de código fuente.

A. Definición de tokens

La definición de token es la primera instancia para la implementación del lenguaje intermediario del sistema experto.

Cada instrucción del lenguaje está compuesta por palabras reservadas que son parte del sistema experto y conocidas como *tokens*. Por ejemplo, para permitir la evaluación lógica condicional, se usan las palabras reservadas (*tokens*) IF, THEN, AND, OR, TRUE y FALSE, según corresponda. La implementación en ANTLR es:

```
IF           : 'IF'       | 'if'       ;
THEN        : 'THEN'    | 'then'    ;
AND         : 'AND'     | 'and'     ;
OR          : 'OR'      | 'or'      ;
TRUE        : 'TRUE'    | 'true'    ;
FALSE       : 'FALSE'   | 'false'   ;
fragment NAT : [0-9]
NUMBER      : NAT+
WS          : [ \t\r\n]+ -> skip
```

El lenguaje aquí propuesto cuenta con 30 palabras reservadas para poder construir las reglas sintácticas.

B. Reglas sintácticas.

Un error sintáctico es una violación a la gramática del lenguaje, es decir, una palabra, una cadena o una frase no cumple con la regla gramatical establecida. El lenguaje de alto nivel propuesto cuenta con diversas reglas sintácticas que validan si la secuencia de palabras reservadas (*token*) es correcta. El objetivo es determinar si la descripción del procedimiento se adecua a lo requerido por el intérprete. Se han propuesto 15 reglas sintácticas, entre las que destacan:

```
program      : name (assign | if_block)+;
rule_es     : assign | comp | method;
assign      : ID (EQUAL | NQUAL) (TRUE | FALSE);
method      : ID LPAR ((NUMBER COMMA)* NUMBER |
NUMBER (PLUS | MINUS | TIMES | DIV)
NUMBER (DIST LPAR FLOAT COMMA FLOAT
RPAR)?) RPAR (EQUAL | NQUAL) (TRUE |
FALSE);
if_block    : IF (((rule_es | LPAR rule_es RPAR) (AND | OR))*
(rule_es | LPAR rule_es RPAR)) THEN assign;
```

El árbol sintáctico abstracto de las reglas *method* y *if_block* se muestran en las Figuras 3a y 3b, respectivamente.

C. Reglas semánticas.

Un error semántico se describe como una violación de las reglas del “significado” de un lenguaje natural o un lenguaje de programación, es decir, la frase carece o está fuera de contexto. Para verificar la validez semántica de las reglas formales, es necesario desarrollar un *inspector semántico* quien es responsable de determinar si una estructura está conceptualmente correcta.

Para el lenguaje propuesto, el inspector semántico *visita* el árbol sintáctico abstracto y, por cada regla, verifica si los elementos están acordes en su contexto. En

este trabajo se ha desarrollado un inspector semántico que analiza las instrucciones formales *name*, *assign* y *if_block*, como se muestra en la Figura 4.

La clase `SIMICParserRulesSemInspector` define los métodos para analizar las diferentes reglas sintácticas. Por ejemplo, el método `visitAssign` toma el contexto de asignación y verifica si el valor asignado está en el contexto booleano. Si es correcto, se construyen objetos de tipo `SIMICAbstractClassAttribute`, para la definición de los atributos y `SIMICAbstractClassMethod` para la definición de los métodos, en la futura generación de código. La Figura 5 muestra el método de inspección semántica.

D. Generación de código fuente.

Finalmente, el último proceso del lenguaje de alto nivel es la construcción automática de código. La idea principal es implementar código fuente para la plataforma SIMIC de manera tal que no sea necesario adquirir competencias de desarrollo de software al momento de implementar las reglas. El código fuente puede ser generado para lenguajes que soporten la programación orientada a objetos, siendo ésta la única limitante. En este trabajo se generó clases *java*.

La estructura generada es un conjunto de clases abstractas que predisponen una plantilla de métodos públicos abstractos (que deberán ser implementados por el encargado de evolucionar SIMIC) y un conjunto de métodos definidos. El desarrollo de esta funcionalidad está en base al patrón de diseño *Factory* y puede ser vista en la Figura 6.

El código generado varía dependiendo del hecho. La Figura 7 muestra el resultado obtenido si se aplica este enfoque al hecho **GM.F2**.

Finalmente, la integración con SIMIC queda definida al momento de la activación de éste, es decir, el paciente recibe el dispositivo de monitoreo pre-configurado con las directrices necesarias, establecidas por la información proporcionada y la inspección de situación del momento, realizada por el médico tratante.

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Mediante el estudio interdisciplinario de las bases fisiopatológicas, recomendaciones y guías clínicas para el seguimiento de la IC, se estructura aquí un conjunto de reglas coherentes, formalmente descritas. La primera dificultad para lograrlo es la comunicación interna en el equipo de trabajo, que debe compatibilizar la práctica clínica, que comprende muchos sobreentendidos y conceptos no verbalizados explícitamente, con la descripción formal del lenguaje propio de la ingeniería. Esta actividad es una materialización del método interdisciplinario [21]. El estudio de cada aspecto de las bases clínicas con vistas a su expresión formal tiene la riqueza del aporte complementario e interdisciplinario. Una óptica de optimización de resultados conociendo el potencial de las máquinas secuenciales, la estructura

arborescente y el ingrediente de la estadística que simula el azar, complementa y se amolda sobre las conductas inherentes a la práctica médica. Esta práctica es discursiva, hecha de acumulación de recomendaciones y es específica. En cambio, los modelos generales presentes en los motores de inferencia permiten diseñar estrategias y encadenamientos complejos de acontecimientos y respuestas. El potencial de eficacia en el seguimiento de los pacientes sometidos a la acción de estas rutinas complejas, es muy elevado y depende de la validez del conocimiento médico que en ellas se codifica.

En los ejemplos descritos aquí las recomendaciones médicas más importantes del punto de vista médico, junto con detalles de empatía y de entendimiento sutil derivados de la mejor relación médico/paciente, son analizadas y codificadas en reglas de producción encadenadas y a veces condicionales. El comportamiento autónomo de este conjunto de reglas que cobran vida cual sistema de tiempo real, impacta en la vida de los pacientes a modo de un personal atento, consecuente e infalible. El registro de las vicisitudes del paciente que responde a las preguntas oportunas que le formula SIMIC en su vida diaria, constituyen un aporte al interrogatorio de la visita médica subsiguiente, y por decisión del médico, pasa a integrar la historia clínica electrónica. Para evitar el empobrecimiento de la percepción de SIMIC por parte del paciente que rápidamente podría descubrir la periodicidad y la previsibilidad de preguntas, sugerencias típicas de un manual de autocuidado, fue necesario recurrir a la aleatoriedad del momento de una pregunta al paciente, o del contenido de una entre varias posibles preguntas. De esta manera el paciente en seguimiento por SIMIC percibe un comportamiento libre y digno de atención por lo esporádico, válido (debido al encadenamiento de acciones según respuestas anteriores) y por lo tanto susceptible de ser atendido cumpliendo sus recomendaciones, aunque sea de registro del propio estilo de vida.

REFERENCIAS

- I. P. Suter, L. Gorski, B. Hennessey, W. N. Suter, (2012), Best Practices for Heart Failure, *Home Healthcare Nurse, Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health)*, 30(7), p. 394-405, DOI 10.1097/nhh.0b013e31825b11ab.
- II. C. Miller, K. Anderson, L. Baas, E. Johnson, T. Lennie, C. Lewis, M. Prasun, (2015), American Association of Heart Failure Nurses Best Practices paper: Literature synthesis and guideline review for dietary sodium restriction, *Heart & Lung: The Journal of Acute and Critical Care, Elsevier*, 44(4), p. 289-298, DOI 10.1016/j.hrtlng.2015.03.003.
- III. M. Mabollo, L. Freeman, A. Sherer, L. Hunter, (2014), Finding the Right Zone: Improving Patient Outcomes Through Best Practices in Heart Failure, *Heart & Lung: The Journal of Acute and Critical Care, Elsevier*, p. 380-381, 43(4), DOI 10.1016/j.hrtlng.2014.06.008.
- IV. S. Tiller, H. Sherrard, E. MacPhee, B. Bowes, (2016), Guidelines Applied in Practice (GAP): A Regional Approach to Best Practices in Heart Failure Management, *Canadian Journal of Cardiology, Elsevier*, 32(10), p. S311-S312, DOI 10.1016/j.cjca.2016.07.527.
- V. A. Cardone, R. González, V. García, G. Ormaechea, P. Álvarez, P. F. Simini, (2016), Sistema Médico de Insuficiencia Cardíaca (SIMIC). *Pregraduate work at Universidad de la República del Uruguay*.

- VI. P. Jackson, (1998), Introduction To Expert Systems (3 ed.), Addison Wesley, p. 2, ISBN 978-0-201-87686-4.
- VII. G. Stanley, (1991). Experience Using Knowledge-Based Reasoning in Real Time Process Control. *IFAC Proceedings Volumes*, Elsevier, 24(4), p. 11-19, DOI 10.1016/s1474-6670(17)54241-x.
- VIII. C. Grosan, A. Abraham, (2011), Rule-Based Expert Systems, *Springer Berlin Heidelberg*, p. 149-185, ISBN 978-3-642-21003-7
- IX. B. Buchanan, R. Duda, (1983), Principles of Rule-Based Expert Systems, *Advances in Computers*, Elsevier, p. 163-216, DOI 10.1016/s0065-2458(08)60129-1.
- X. D. Dominik, D. Reidenbach, (2013), Inferring descriptive generalisations of formal languages, *Journal of Computer and System Sciences*, Elsevier, 79(5), p. 622-639, DOI 10.1016/j.jcss.2012.10.001.
- XI. S. Liang, M. Rijke, (2016), Formal language models for finding groups of experts, *Information Processing & Management*, Elsevier, 52(4), p. 529-549, DOI 10.1016/j.ipm.2015.11.005.
- XII. J. Castro-Schez, J. Gallardo, R. Miguel, D. Vallejo, (2017), Knowledge-based systems to enhance learning: A case study on formal languages and automata theory, *Knowledge-Based Systems*, Elsevier, vol. 122, p. 180-198, DOI 10.1016/j.knosys.2017.02.007.
- XIII. Eclipse Market Place, ANTLR Plugin, [Online]. Available: (<https://marketplace.eclipse.org/content/antlr-4-ideide>), last access march 15, 2018.
- XIV. Gunal, A. (2013), How to determine 'dry weight?', *Kidney International, Supplements*, Elsevier, 3(4), p. 377-379, DOI 10.1038/kisup.2013.81.
- XV. D. Ramirez, D. Almanza, L. Ángel, D. Pinzón, A. Zambrano, N. Mera, R. Contento, S. Bermúdez, J. Giraldo, L. Cáceres, D. Osorio, P. Sabogal, Y. Suárez, L. González, J. León, L. Barrera, (2015), Estimación del agua corporal total y del peso seco usando impedancia bioeléctrica tetrapolar de multifrecuencia en pacientes en hemodiálisis, *Universidad Nacional de Colombia*, p. 19-31, 63(1), DOI 10.15446/revfacmed.v63n1.41183.
- XVI. M. Valverde, S. Aclé, G. Ormaechea, P. Álvarez, (2013), NT-ProBNP: marcador biológico útil para monitorización del estado clínico y como factor pronóstico en pacientes ambulatorios portadores de insuficiencia cardíaca sistólica, *Insuficiencia Cardíaca*, 8(2), p. 59-69, ISSN 1850-1044.
- XVII. G. Silvera, C. Chamorro, A. Silveira G. Ormaechea, P. Álvarez, (dic, 2013), Nivel de conocimiento de la enfermedad en una cohorte de pacientes con insuficiencia cardíaca, *Archivos de Medicina Interna SCIELOUY*, 35(3), p. 71 – 75.
- XVIII. P. Muñoz, P. Álvarez, A. Silveira, G. Ormaechea, G. Silvera, (sep, 2013) Prevalencia de depresión en la cohorte de pacientes de una unidad de insuficiencia cardíaca crónica, *Revista Médica del Uruguay*, *SCIELOUY*, 29(3), p. 174 - 180.
- XIX. P. Álvarez, P. Muñoz, A. Silveira, G. Silvera, G. Ormaechea, (nov, 2013), Utilidad de una encuesta rápida para pesquisa de depresión (EPD.3PO) en una cohorte de pacientes con insuficiencia cardíaca crónica, *Insuficiencia cardíaca*, *SCIELOUY*, 8(4), p. 165-170.