

Sistema Experto para el entrenamiento y la asistencia en el diagnóstico en un Centro de Diálisis

Mariela Pariso¹, Marisa Panizzi, Jorge Ierache^{1,2}

¹ Instituto de Sistemas Inteligentes y Enseñanza Experimental de la Robótica
Laboratorio de Sistemas de Información Avanzados - Facultad de Ingeniería
Universidad de Buenos Aires²

Facultad de Informática Ciencias de la Comunicación y Técnicas Especiales¹
Universidad de Morón, Cabildo 134, (B1708JPD) Morón, Buenos Aires, Argentina
{Mariela Pariso, mariela.pariso@gmail.com}

Resumen. Diálisis es el tratamiento sustitutivo de la función renal al que deben someterse aquellos pacientes que sufren alguna afección renal severa, cuando sus riñones ya no son capaces de alcanzar el nivel de filtrado de toxinas adecuado, haciendo las veces de “riñón artificial” para poder mantenerlos con vida, a menos que se consiga un trasplante de riñón exitoso. El Sistema Experto en Diálisis (SED), es capaz de brindar un diagnóstico para cada paciente renal en particular, teniendo en cuenta: la necesidad o no de sometimiento a alguno de los métodos terapéuticos extrarrenales sustitutivos; la modalidad terapéutica que mejor se adapta a las características del paciente y las características que revestirá el tratamiento sugerido. Está orientado al entrenamiento y la asistencia en el diagnóstico y la toma de decisiones para personal novato de enfermería especializado en diálisis.

Palabras clave: Sistema Experto, Ingeniería del Conocimiento, Informática aplicada a la Medicina, Nefrología, Diálisis

1 Introducción

Los Centros de Diálisis (CCDD) son centros sanitarios de atención a pacientes con patologías o afecciones renales, que posibilitan el acceso a tratamientos sustitutivos de la función renal, basados en la extracción de las toxinas y el exceso de agua de la sangre, de forma extrarrenal, en pos de mantener con vida al paciente, hasta tanto pueda acceder a un trasplante de riñón, o en forma indeterminada. En los CCDD trabaja un equipo multidisciplinario de profesionales que asiste al paciente antes, durante y luego de las sesiones de diálisis. El equipo básico está compuesto por el nefrólogo (médico especialista en riñones) y el técnico (enfermero especializado en el área de diálisis).

La introducción de un paciente a tratamiento sustitutivo implica la toma de diversas decisiones, a cargo del nefrólogo, con asistencia de los técnicos, que requieren un análisis profundo de las características particulares de cada paciente, para poder suministrarle el tratamiento que mejor se adapte a su estado de salud, a sus

condiciones de vida y a sus preferencias, con el objetivo de brindarle al paciente una mejor calidad de vida.

La National Kidney Foundation [1] afirma que los estudios demuestran que, si el paciente obtiene la cantidad adecuada de diálisis, su salud general mejora, se siente mejor, se previenen las hospitalizaciones y el paciente puede vivir más tiempo. De allí la importancia de una correcta elección de la modalidad terapéutica a aplicar y de las características de la misma, en pos de favorecer al paciente, brindándole el acceso a una vida lo más normal posible.

Según Alfredo Casaliba, titular de la Asociación Regional de Diálisis y Trasplantes Renales de la Capital Federal y la Provincia de Buenos Aires, “Los servicios de diálisis son esenciales para los pacientes que deben recibirlos, y por eso existe un fuerte grado de compromiso y de responsabilidad en todos los actores para alcanzar el objetivo deseado, que es el restablecimiento del paciente con la rehabilitación al más alto grado posible para poder devolverlo a su medio e incluso a su trabajo”[2].

Los técnicos en diálisis son quienes trabajan en el día a día con los pacientes, responsables de las sesiones de diálisis a las que acuden los mismos. En este contexto, se plantea el problema de carácter práctico, como la necesidad de contar con profesionales entrenados, para asegurar un correcto diagnóstico y, posteriormente, acompañamiento del paciente durante el tratamiento. Sin embargo, la experiencia del equipo de salud en esta área suele encontrarse limitada, ante la falta de disponibilidad de técnicos. Además, en función del aumento de la incidencia de enfermos con insuficiencia renal crónica y de la reducida disponibilidad de donantes para una terapia definitiva, se estima un crecimiento de la necesidad de estos profesionales en el mediano plazo en el campo de la Nefrología. Esto, se suma a la carencia de experiencia en el ámbito real de operaciones de los procesos de diálisis, teniendo en cuenta la importancia de lo que implica la toma de decisiones acerca de la vida del paciente.

Dado que se considera al enfermero como el eje fundamental del cuidado hospitalario, lo que garantiza la calidad de los cuidados y una mejora en los resultados de los pacientes, es fundamental que su trabajo se vea enriquecido por la experiencia de aquellas personas consideradas verdaderos especialistas en el área [3]. Todo esto hace que se considere de gran utilidad disponer de un SE, aplicado al entrenamiento de los enfermeros y técnicos novatos, para su empleo en CCDD o en el ámbito académico.

El sistema de asistencia que se plantea aquí tiene por objetivo plasmar mediante un SISTEMA EXPERTO (SE) el conocimiento adquirido por un nefrólogo en el área de diálisis, con el fin de que ese conocimiento pueda ser extensivo a los enfermeros y técnicos novatos, en un plan de entrenamiento, para asegurar la toma de decisiones eficiente.

Si bien existen antecedentes de Sistemas Expertos (SSEE) creados en el ámbito de la medicina, no se han encontrado trabajos previos relacionados a SSEE creados a los fines del entrenamiento en el área de diálisis. Sin embargo, puede mencionarse un trabajo realizado en la Sociedad Española de Nefrología (SEN), que consistió en el desarrollo de un sistema de monitorización clínica, específicamente para hemodiálisis, basado en los indicadores de calidad del Grupo de Gestión de Calidad de la SEN, con el objetivo de disminuir la variabilidad en la práctica clínica [4].

2 Desarrollo

Se desarrolló un prototipo de Sistema Experto, en el contexto del tratamiento de enfermos renales, con la participación de tres expertos en el área, que aportaron sus conocimientos para hacer posible la construcción del sistema, a saber: Lic. Victor Borda, técnico en diálisis, Dr. César Barraza, médico nefrólogo, ambos trabajando actualmente en el Servicio de Nefrología y Diálisis Dr. Ursini S.R.L del Hospital Español de Buenos Aires, y Dra. Ana María Arcamone, médica nefróloga del Centro de Diálisis Dialitys S.A. El prototipo basal de SE desarrollado es capaz de:

- Diagnosticar la necesidad o no de sometimiento a alguno de los métodos terapéuticos extrarrenales sustitutivos a un paciente que presente una patología renal severa (Insuficiencia Renal Aguda o Insuficiencia Renal Crónica).
- Diagnosticar la modalidad terapéutica que mejor se adapte a las características del paciente.
- Recomendar las mejores características terapéuticas a aplicar dentro del tratamiento seleccionado, es decir, las cualidades o propiedades más adecuadas dentro del proceso de diálisis.

El Sistema Experto en Diálisis (SED) desarrollado fue concebido bajo los lineamientos de la metodología I.D.E.A.L. [5] para el desarrollo de Sistemas Basados en Conocimiento (SSBBCC) [6].

Dentro del contexto de esta metodología, se ha llevado a cabo el estudio de viabilidad del proyecto [7], obteniendo como resultado una media general de 7,78.

Durante la etapa de adquisición de conocimientos se mantuvieron diversas entrevistas con los expertos, estructuradas y no estructuradas, se emplearon cuestionarios y se realizó la observación de tareas habituales.

Dentro de la fase de Conceptualización, se emplearon como técnicas de modelado de los conocimientos fácticos un glosario de términos, un diccionario de conceptos y tablas Concepto- Atributo-Valor (CAV). En la Tabla 1 puede observarse un extracto de las tablas CAV construidas, las que detallan los conceptos sobre los cuales se ha creado un diagrama de relaciones (DER), que se obtuvieron como producto de la educación y extracción de conocimientos fácticos de los expertos. La Figura 1 muestra la relación entre los conceptos del dominio identificados.

Para representar los resultados de la extracción y educación de conocimientos estratégicos de los expertos, se construyó sobre la base de los conceptos del dominio, un árbol de descomposición funcional, el que se puede observar en la Figura 2.

En materia de conocimientos tácticos obtenidos de los expertos, para su representación, se emplearon pseudorreglas y tablas de decisión. La Tabla 2 muestra, a modo de ejemplo, una de las pseudorreglas creadas. Finalmente, se llegó a la etapa de síntesis de los conocimientos, mediante la construcción de un mapa de conocimientos (MC). En la Figura 3, puede observarse una parte del MC general construido, correspondiente al atributo meta "Tipo de tratamiento", del concepto "Diagnóstico tipo de tratamiento sustitutivo", que representa la inferencia de uno de los sub-diagnósticos correspondientes al SE, según se detalla en el árbol de descomposición funcional (Figura 2).

Tabla 1. Extracto de ejemplo de las tablas CAV.

Concepto	Atributo	Valor
Acceso para diálisis	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de intervención • Acceso vascular apto para FAV • Carece de arteria apta para punción • Peritoneo de alto recambio • Mantiene función renal residual 	<ul style="list-style-type: none"> • Transitoria/Permanente • Si/No • Si/No • Si/No • Si/No
Análisis laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> • Urea • Creatinina • Potasio • Calcio • Bicarbonato plasmático • Clearance de Creatinina • Proteinuria • Glóbulos rojos en orina 	<ul style="list-style-type: none"> • Numérico [10 - 500] mg x 100 • Numérico [1 - 25] mg x 100 • Numérico [2 - 10] mg x 100 • Numérico [3 - 18] mg x 100 • Numérico [0 - 35] mEq/Litro • Numérico [0 - 140] ml/min • Numérico [0 - 1000] mg en 24 hs • Numérico [0 - 100] por campo
Características tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso más adecuado • Frecuencia sesiones • Flujo de bomba • Duración de la sesión • Heparina inicial • Heparina horaria • Peso para perder • Ultrafiltración horaria • Sodio • Temperatura baño de diálisis • Tipo de ácido 	<ul style="list-style-type: none"> • FAV/ Injerto/ Catéter transitorio/ Catéter permanente/ Catéter peritoneal / No aplica • 3 veces por semana / 5 veces por semana / 4 veces por día / 1 vez por día / No aplica • 350-400 ml/min / 300 ml/min / No aplica • 4 / 3 / 5,5 / 3,5 / 0,6 / 8 / 0 • 50 unidades kilodosis / 0 – 50 unidades kilodosis / 50 – 10.000 unidades kilodosis / No aplica • 1.000 unidades kilodosis/hora / 0 - 1.000 unidades kilodosis/hora / 3000 - 0 unidades kilodosis/hora / 2500 - 0 unidades kilodosis/hora / 2000/1600 - 0 unidades kilodosis/hora / No aplica • Numérico[0 - 100] Kilogramos • 1 litro/hora / Menos de 1 litro/hora / 1 – 3 litros/hora/ No aplica • 135 Meq/litro / 136 Meq/litro / 138 - 142 Meq/litro / 134 Meq/litro / No aplica • 35,5 °C – 36 °C / 36°C – 37°C / 35,5°C / 37°C / No aplica • Sin glucosa / Con glucosa / No aplica

Luego, en la etapa de Formalización, se emplearon como formalismos de representación a las reglas de producción, marcos [8] y procedimientos, lo cual facilitó el traspaso a la etapa de implementación del sistema.

Para la implementación del SED, se ha utilizado el entorno de desarrollo Kappa-PC de Intellicorp Inc. [9]. Se seleccionó esta herramienta debido a que está orientada a los sistemas basados en marcos y facilita el prototipado evolutivo ágil, lo cual resulta consistente con el desarrollo propuesto por la metodología I.D.E.A.L. Por otra parte, la estrategia del motor de inferencia seleccionada ha sido *forward chaining*.

En la Figura 4, se observa la pantalla que exhibe el diagnóstico final que arroja el prototipo de SE, que abarca los tres sub-diagnóstico mencionados, a saber: *Situación renal del paciente, tratamiento sugerido y características recomendadas para el tratamiento seleccionado*. Se ha tomado para el ejemplo, el caso de prueba 6, provisto por los expertos (ver detalle en la Tabla 3). Luego, en la Figura 5, se visualiza una pantalla del sistema que ofrece el conjunto de reglas que fueron disparadas, a modo de justificación de la inferencia, para mostrar la trazabilidad de los subdiagnósticos y el diagnóstico final.

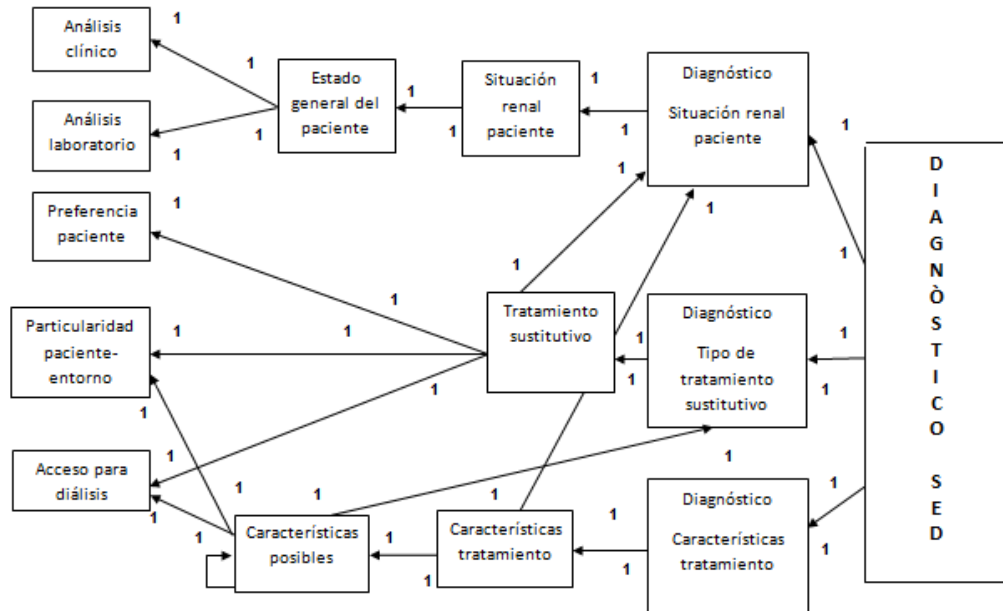


Fig. 1. Mapa de relaciones del SED, donde se expresan las relaciones identificadas entre los conceptos del dominio.

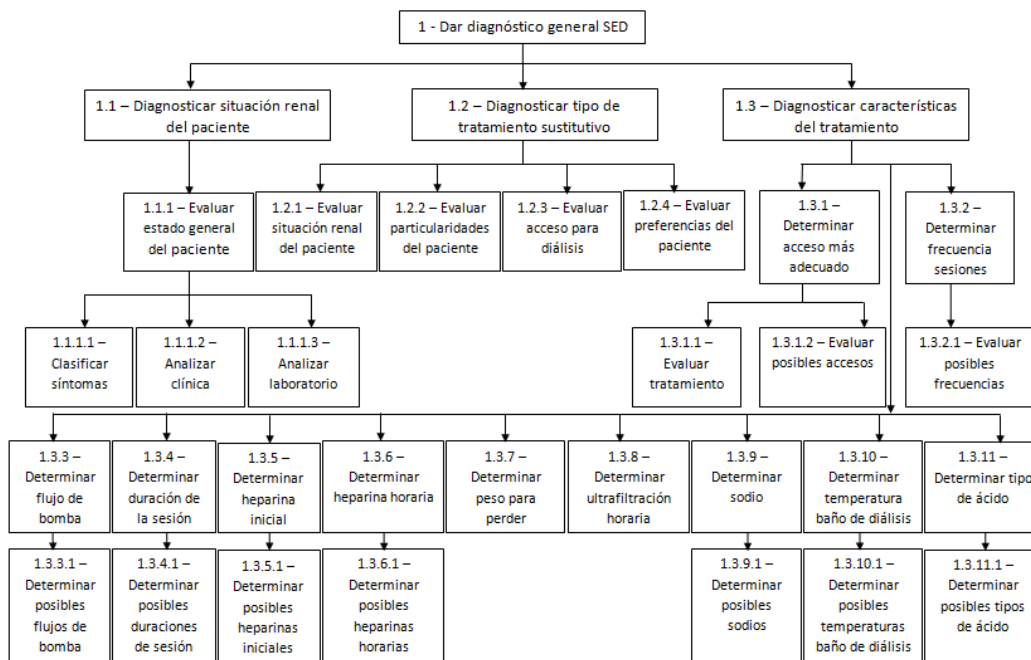


Fig. 2. Árbol de descomposición funcional de los conocimientos estratégicos del SED.

Tabla 2. Ejemplo de pseudorregla creada para el SED.

Estado de la regla	Texto de la regla
Función	Determinar los posibles tratamientos sustitutivos que se podrían implementar de acuerdo a las particularidades del paciente y su entorno.
Palabra del experto	Existen ciertas afecciones o características particulares que los pacientes pueden tener que son determinantes en ciertas variaciones del tratamiento del estándar aceptable. Embarazadas, tienen indicaciones de hemodiálisis.
Formulación externa de la regla	SI Particularidad paciente-entorno .Embarazada = {Si} ENTONCES Tratamiento sustitutivo.Tratamientos según particularidades += {Hemodiálisis}
Nombre de la regla	R_TS_Part_3

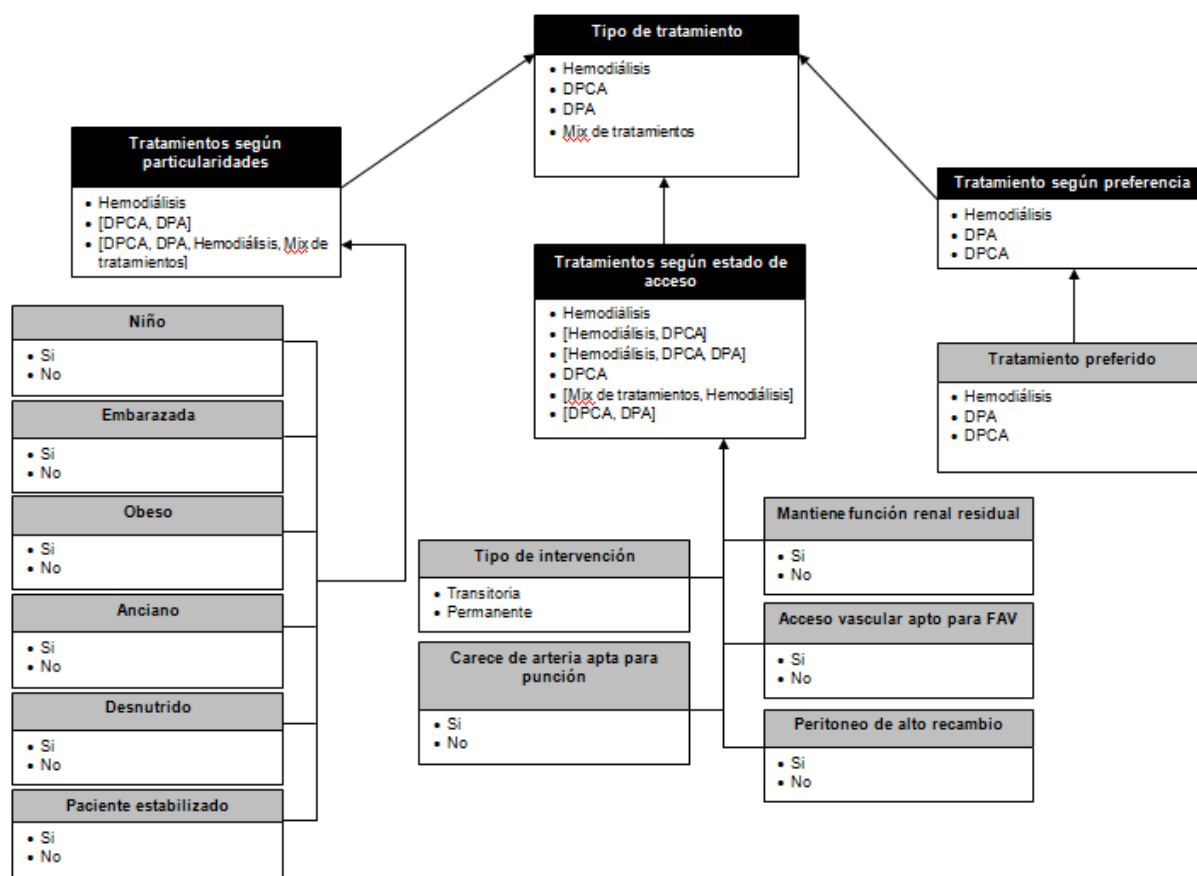


Fig. 3. Extracto del Mapa de Conocimientos del SED que muestra la inferencia del subdiagnóstico que indica el tipo de tratamiento sugerido.

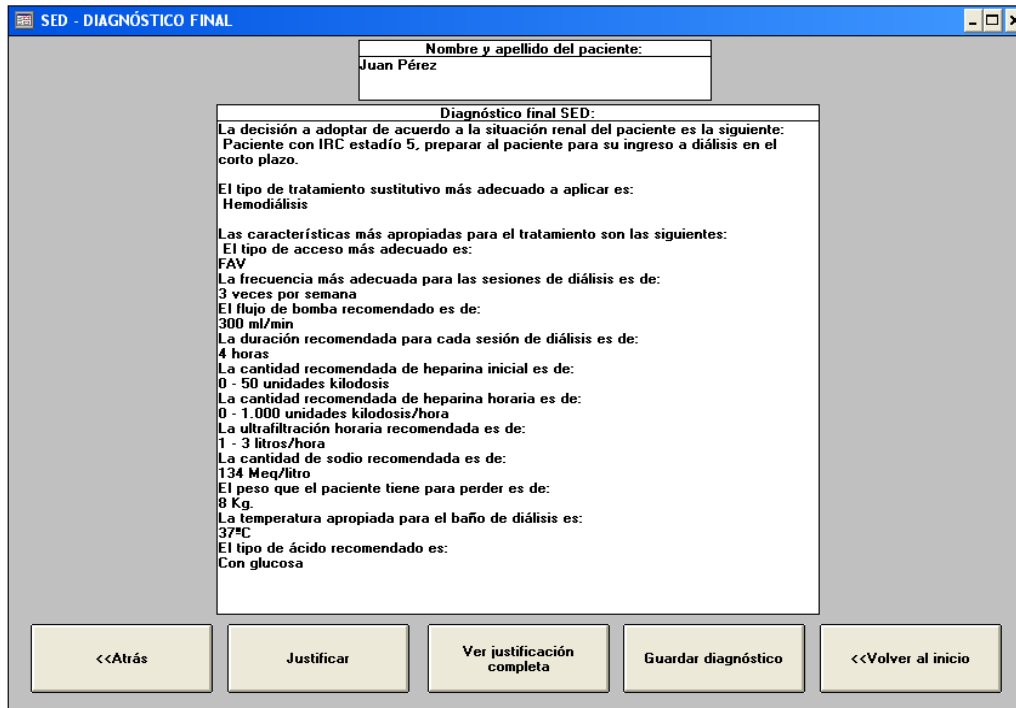


Fig. 4. Pantalla del SED que muestra el diagnóstico final arrojado a partir de la ejecución de un caso de prueba provisto por los expertos.

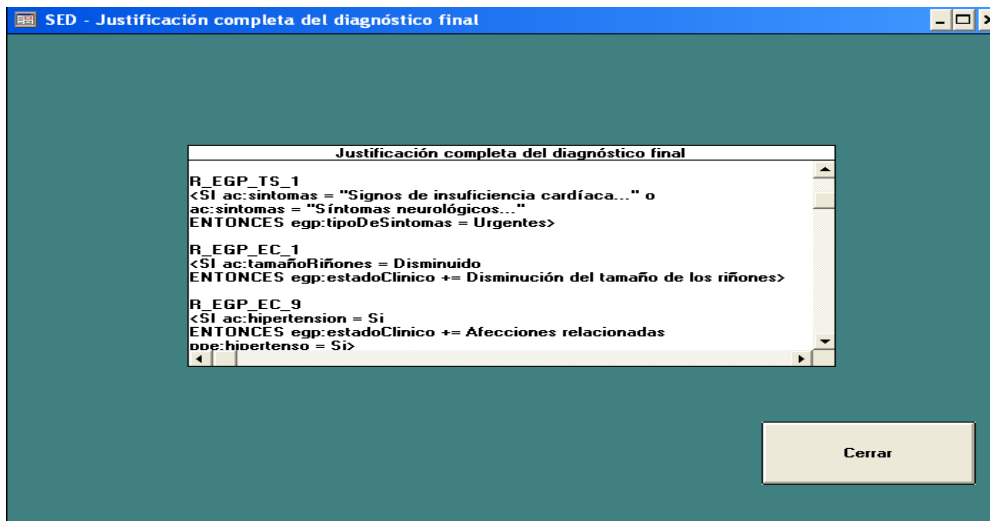


Fig. 5. Pantalla del SED que muestra la justificación de la inferencia del diagnóstico final a través de las reglas que fueron disparadas por el motor de inferencia, para mostrar la trazabilidad de la aplicación.

3 Resultado de las pruebas del SED.

Para la evaluación de esta fase se consideraron los criterios propuestos por Gómez y otros [6] y las aportaciones de Ierache J. [10], en materia de comprobación del conocimiento estratégico modelado en el SE. Se efectuó una revisión de coincidencia de los marcos obtenidos en el proceso de formalización (diseño) y el modelo conceptual (análisis), asegurando la consistencia y completitud. En relación al conocimiento táctico representado fundamentalmente por las reglas, se efectuó una revisión considerando la redundancia, identidad, reglas embebidas, condiciones SI innecesarias, callejones sin salida, reglas circulares, reglas ausentes, reglas inalcanzables, inconsistencia e incompatibilidades. Las pruebas se documentaron considerando el resultado obtenido correspondiente al diagnóstico brindado por el SE y el resultado esperado para el caso de prueba en relación al diagnóstico del SE. Se detalla uno de los casos de prueba del SED (Caso nro. 6) en la Tabla 3, indicándose cada uno de los subdiagnósticos esperados, en correspondencia con el diagnóstico del sistema experto. Se efectuaron un total de 14 casos de prueba aportados por los expertos.

Tabla 3. Resultados del caso de prueba número 6 del SED.

Atributo	Diagnóstico esperado	Diagnóstico del SED
Diagnóstico Situación Renal Paciente. Decisión a adoptar (1.1)	Paciente con IRC estadio 5, preparar al paciente para su ingreso a diálisis en el corto plazo.	Paciente con IRC estadio 5, preparar al paciente para su ingreso a diálisis en el corto plazo.
Estado renal paciente (1.1.1)	Paciente con alteración de la función renal Paciente con IRC, estadio 5	Paciente con alteración de la función renal Paciente con IRC, estadio 5
Tipo de síntomas (1.1.1.1)	Urgentes	Urgentes
Estado clínico (1.1.1.2)	Disminución del tamaño de los riñones Afecciones relacionadas	Disminución del tamaño de los riñones Afecciones relacionadas
Estado laboratorio (1.1.1.3)	Posible alteración de función renal DPreQ CC_IRC5	Posible alteración de función renal DPreQ CC_IRC5
Diagnóstico tipo de tratamiento sustitutivo. Tipo de tratamiento (1.2)	Hemodiálisis	Hemodiálisis
Situación renal (1.2.1)	Paciente con IRC estadio 5, preparar al paciente para su ingreso a diálisis en el corto plazo.	Paciente con IRC estadio 5, preparar al paciente para su ingreso a diálisis en el corto plazo.
Tratamientos según particularidades (1.2.2)	Hemodiálisis	Hemodiálisis
Tratamientos según estado de acceso (1.2.3)	DPCA Hemodiálisis	DPCA Hemodiálisis
Tratamiento según preferencia (1.2.4)	Hemodiálisis	Hemodiálisis
Diagnóstico Características Tratamiento. Características finales (1.3)	El tipo de acceso más adecuado es: FAV La frecuencia más adecuada para las sesiones de diálisis es de: 3 veces por semana El flujo de bomba recomendado es de: 300 ml/min La duración recomendada para cada sesión de diálisis es de: 4 horas	El tipo de acceso más adecuado es: FAV La frecuencia más adecuada para las sesiones de diálisis es de: 3 veces por semana El flujo de bomba recomendado es de: 300 ml/min La duración recomendada para cada sesión de diálisis es de: 4 horas

	<p>La cantidad recomendada de heparina inicial es de: 0 - 50 unidades kilodosis</p> <p>La cantidad recomendada de heparina horaria es de: 0 - 1.000 unidades kilodosis/hora</p> <p>La ultrafiltración horaria recomendada es de: 1 - 3 litros/hora</p> <p>La cantidad de sodio recomendada es de: 134 Meq/litro</p> <p>El peso que el paciente tiene para perder es de: 8 Kg.</p> <p>La temperatura apropiada para el baño de diálisis es: 37°C</p> <p>El tipo de ácido recomendado es: Con glucosa</p>	<p>La cantidad recomendada de heparina inicial es de: 0 - 50 unidades kilodosis</p> <p>La cantidad recomendada de heparina horaria es de: 0 - 1.000 unidades kilodosis/hora</p> <p>La ultrafiltración horaria recomendada es de: 1 - 3 litros/hora</p> <p>La cantidad de sodio recomendada es de: 134 Meq/litro</p> <p>El peso que el paciente tiene para perder es de: 8 Kg.</p> <p>La temperatura apropiada para el baño de diálisis es: 37°C</p> <p>El tipo de ácido recomendado es: Con glucosa</p>
Acceso más adecuado (1.3.1)	FAV	FAV
Tratamiento (1.3.1.1)	Hemodiálisis	Hemodiálisis
Posibles accesos (1.3.1.2)	FAV	FAV
Frecuencia sesiones (1.3.2)	3 veces por semana	3 veces por semana
Posibles frecuencias (1.3.2.1)	3 veces por semana	3 veces por semana
Flujo de bomba (1.3.3)	300 ml/min	300 ml/min
Posibles flujos de bomba (1.3.3.1)	300 ml/min	300 ml/min
Duración de la sesión (1.3.4)	4	4
Posibles duraciones de sesión (1.3.4.1)	4 horas	4 horas
Heparina inicial (1.3.5)	0 - 50 unidades kilodosis	0 - 50 unidades kilodosis
Posibles heparinas iniciales (1.3.5.1)	0 - 50 unidades kilodosis	0 - 50 unidades kilodosis
Heparina horaria (1.3.6)	0 - 1.000 unidades kilodosis/hora	0 - 1.000 unidades kilodosis/hora
Posibles heparinas horarias (1.3.6.1)	0 - 1.000 unidades kilodosis/hora	0 - 1.000 unidades kilodosis/hora
Peso para perder (1.3.7)	8	8
Ultrafiltración horaria (1.3.8)	1 - 3 litros/hora	1 - 3 litros/hora
Sodio (1.3.9)	134 Meq/litro	134 Meq/litro
Posibles sodios (1.3.9.1)	134 Meq/litro	134 Meq/litro
Temperatura baño de diálisis (1.3.10)	37°C	37°C
Posibles temperaturas baño de diálisis (1.3.10.1)	37°C	37°C
Tipo de ácido (1.3.11)	Con glucosa	Con glucosa
Posibles tipos de ácido (1.3.11.1)	Con glucosa	Con glucosa
Diagnóstico final SED	<p>La decisión a adoptar de acuerdo a la situación renal del paciente es la siguiente: (1.1). El tipo de tratamiento sustitutivo más adecuado a aplicar es: (1.2)</p> <p>Las características más apropiadas para el tratamiento son las siguientes: (1.3)</p>	<p>La decisión a adoptar de acuerdo a la situación renal del paciente es la siguiente: (1.1). El tipo de tratamiento sustitutivo más adecuado a aplicar es: (1.2)</p> <p>Las características más apropiadas para el tratamiento son las siguientes: (1.3)</p>

4 Conclusiones y futuras líneas de trabajo

Se ha sistematizado y documentado el conocimiento relacionado al dominio de la aplicación, relativo a los métodos actuales de diagnóstico y terapéutica que se emplean en los Centros de Diálisis, obteniendo como resultado el desarrollo de un prototipo de SE. A partir del desarrollo del sistema, se desprenden diversas líneas de trabajo, a saber: (a) Ampliar las capacidades del sistema para considerar el entrenamiento en el área de bioseguridad en un Centro de Diálisis. (b) Adecuar el SE para que funcione a modo de sistema de monitoreo de los pacientes en tiempo real, interconectado con las máquinas de diálisis que se emplean en los CCDD, para poder introducir datos directamente desde el sistema experto a la máquina de diálisis y obtener resultados desde ésta. (c) Adaptar el SE para permitir la comunicación remota del personal de enfermería y obtener asistencia al entrenamiento y la toma de decisiones on-line. (d) Introducir módulos de toma de decisiones en cuanto a la dieta y medicación recomendada a los pacientes renales. (e) Incorporar al SE el aprendizaje automático, para que el propio sistema pueda ampliar su base de conocimientos a partir de la experiencia que adquiere con el uso. (f) Desarrollo de interfaces web de usuarios y la concertación de instancias en un repositorio centralizado, a fin de obtener el descubrimiento de reglas y patrones que contribuyan con el mantenimiento de la base de conocimiento del SED. (g) Desarrollo de Ontologías sobre la base del conocimiento modelizado y la capitalización de la experiencia que se obtenga con el empleo del SED.

Bibliografía

1. National Kidney Foundation: Hemodiálisis: Lo que necesita saber. (2006) http://www.kidney.org/atoz/pdf/hemodialysis_sp.pdf
2. Revista Médicos: Una entidad decidida a mejorar los servicios de diálisis. Nro. 39. Pág. 46. <http://www.revistamedicos.com.ar/numero39/pagina46.htm>
3. Andreu L, Force E.: 500 cuestiones que plantea el cuidado del enfermo renal. (2ª ed.) Masson S.A., Barcelona (2001)
4. Grupo de Gestión de Calidad de la Sociedad Española de Nefrología: Desarrollo de un sistema de monitorización clínica para hemodiálisis: propuesta de indicadores del Grupo de Gestión de Calidad de la SEN. Nefrología. 5(27). (2007), <http://www.revistanefrologia.com/modules.php?name=articulos&idarticulo=4881&idlangart=ES>
5. García Martínez, R. y Britos, P.V.: Ingeniería de Sistemas Expertos. Nueva Librería, Buenos Aires – Argentina (2004)
6. Gómez, A., Juristo N., Montes C., Pazos J.: Ingeniería del Conocimiento. Editorial Centros de Estudios Ramón Areces (1997)
7. Pasos J., (1997). Análisis de Viabilidad en sistemas basados en conocimiento, Máster de INCO de UPM.
8. Minsky M., (1975) “A framework for representing Knowledge”, MC Graw Hill. Nueva York (EEUU).
9. Kappa-PC B (1992). Kappa PC User Guide, Intellicorp, inc.
10. Ierache J., Martínez, R. Sistema Experto para el entrenamiento y asistencia en la toma de decisiones en un centro de información y control aéreo. CACIC 2004, ISBN 987-9495-58-6.