



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

SISTEMA DE APOYO A TOMA DE DECISIONES CLÍNICAS ENFOCADO EN
EXÁMENES Y MEDICAMENTOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN COMPUTACIÓN

CARLOS WALTER CONTRERAS MONTANARES

PROFESOR GUÍA:
SANDRA DE LA FUENTE GONZÁLEZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JAIME CONTESSE MARROQUIN
JOSE PINO URTUBIA
MARCELA CALDERÓN CORAIL

SANTIAGO DE CHILE
2019

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN COMPUTACIÓN
POR: CARLOS WALTER CONTRERAS MONTANARES
FECHA: 2019
PROF. GUÍA: SANDRA DE LA FUENTE GONZÁLEZ

SISTEMA DE APOYO A TOMA DE DECISIONES CLÍNICAS ENFOCADO EN EXÁMENES Y MEDICAMENTOS

En un centro de atención de salud, los procesos de prescripción de medicamentos e indicación de exámenes cuentan con diversos factores que pueden desencadenar en efectos negativos, tanto para los pacientes como para el mismo centro de salud, gastando recursos e insumos de manera innecesaria.

La red Sonreír es un equipo multidisciplinario que vela por concebir, diseñar y construir procedimientos que beneficien a los procesos del Hospital Dr. Exequiel González Cortés.

Dada la misión de la red, han detectado la necesidad de incorporar un sistema que apoye la decisión del cuerpo médico en el proceso de prescripción, tanto de fármacos como de exámenes, pues al analizar estos procedimientos se encontró un alto porcentaje de recetas con riesgo farmacológico asociado y exámenes erróneamente indicados.

El objetivo del trabajo es mejorar y agilizar los procesos de prescripción de medicamentos e indicación de exámenes para pacientes pediátricos de urgencias en un hospital público, por medio de la construcción de un sistema de soporte para decisión clínica de medicamentos y exámenes.

En el caso de medicamentos, se diseña y programa un sistema que informe a los médicos al momento de encontrar un nivel de riesgo en su prescripción, el cual es posteriormente validado por el químico farmacéutico (QF) del hospital.

Para los exámenes se analizan las órdenes de los mismos para distintos diagnósticos, generando una base de conocimiento que pueda relacionar un diagnóstico con un conjunto de exámenes representativos.

Los procesos se validan con médicos y el QF del hospital, dando paso a la implementación de estos en la aplicación de la red Sonreír.

Los resultados obtenidos en medicamentos tienen relación con el aporte incorporado al proceso de prescripción y fármaco-vigilancia dentro del hospital.

En cuanto a los resultados obtenidos desde el modelo para exámenes, se constata que aunque el modelo se adapta bien a los exámenes del modelo de entrenamiento, en la realidad los exámenes vinculados con un diagnóstico no corresponden.

Dado que no se logró generar un modelo consistente para la indicación de exámenes, no se consiguió implementar un sistema de apoyo para este ámbito.

A mi familia sanguínea y espiritual.

Agradecimientos

Primero que todo, agradezco a mi familia. Mis padres Cecilia y Carlos, que siempre estuvieron siempre a mi lado. En los días alegres y en los días donde todo salió mal. En las noches donde dormía pensando en el control de día siguiente o estresado haciendo un trabajo. Y a mi hermano Alan, que me ha aguantado 19 años y con mucha paciencia estos últimos 6. Los quiero.

Agradezco a la Red Sonreír, por darme la oportunidad de desarrollar un software en ayuda a la salud pública y pediátrica del país.

A todo el equipo de la Red que me ha dado las herramientas necesarias para realizar este trabajo, en especial a Felipe que con paciencia contestó cada una de mis insistentes consultas.

Agradezco a los que fueron mi soporte en la universidad. A Kay, Pablo, Emilio, Daniel y Gabriel, los SU. Gracias por alegrarme día a día, por poder compartir con ustedes en un ambiente aparte de lo que demanda la universidad, espero haber hecho lo mismo por ustedes. Porque vaya que las risas no faltaron.

A todos aquellos que me apoyaron, que leían mis informes antes de que los mandara, los que trasnochaban conmigo cuando tenía que hacer una tarea. Con los que crucé alguna palabra y alegraron mi día.

Por último y no menos importante, agradezco a mi familia en Cristo, que siempre estuvo ahí. A los que estuvieron físicamente conmigo y otros que quizás nunca supe, pero oraron por mí.

En especial a aquellos que me recibían con las puertas y brazos abiertos cuando Santiago me empezaba a apestar.

Señor, gracias te doy por darme lo que necesité para estar aquí.

Tabla de Contenido

Introducción	1
1. Marco teórico	6
1.1. Farmacovigilancia	6
1.2. Riesgo farmacológico	6
1.3. Selección de características	7
1.3.1. Etapas involucradas	7
2. Sistema de apoyo de decisión para fármacos	11
2.1. Problema a abordar y satisfacibilidad	11
2.2. Roles e interacciones	12
2.3. Diseño de los servicios	13
2.4. Diseño de interfaces	18
2.5. Diseño físico	22
2.5.1. Cliente y Servidor	22
2.5.2. Base de datos	22
2.6. Construcción	24
2.6.1. Trabajo sobre el grafo	24
2.6.2. Alertas y riesgos parciales	25
2.6.3. Cálculo de riesgo global	28
2.6.4. Servicios	32
2.7. Pruebas	33
2.8. Validación de la aplicación	33
2.8.1. Cumplimiento de requisitos	33
2.8.2. Validación de las interfaces	34
2.8.3. Validación de aporte al usuario	35
2.9. Discusión	36
3. Modelo para exámenes por diagnóstico	37
3.1. Problema a abordar	37
3.2. Obtención de datos	37
3.3. Selección de características	39
3.4. Análisis de resultados	40
Conclusión	42
Bibliografía	46

Índice de Tablas

2.1. Riesgos globales asociados a las variables encontradas en la prescripción . . .	31
2.2. Nuevos servicios incorporados a la API	32
3.1. Top 10. Diagnósticos con más cantidad de ejemplos	38
3.2. Número de exámenes distintos por diagnóstico.	39
3.3. Porcentaje de intersección entre el conjunto representativo y el conjunto de validación	40

Índice de Ilustraciones

1.1. Proceso selección de características	7
1.2. Medida de correlación entre características y clase.	9
2.1. Llamadas a servicios al guardar prescripción.	14
2.2. Llamada a servicio para obtener listas de pacientes.	15
2.3. Llamadas a servicios en la vista del paciente hospitalizado.	16
2.4. Llamadas a servicios para guardar recalificación.	17
2.5. Lista de niños hospitalizados por área.	18
2.6. Vista de paciente hospitalizado.	19
2.7. Vista de paciente con recalificación de riesgo.	20
2.8. Popup de alertas.	21
2.9. Modelo teórico de relaciones de farmacia.	23
2.10. Ejemplos de nodos vacíos en la base de datos.	24
2.11. Ejemplos de nodos repetidos en la base de datos.	25
2.12. Árbol de decisión para el cálculo de riesgo global.	29

Introducción

Contexto, problema y relevancia

Los sistemas de soporte para decisiones clínicas a través de los años han ganado espacio en el ámbito de la salud. Esto se debe a sus ventajas frente a la disminución del tiempo empleado, la agilización de los procesos involucrados y mejoras en la precisión de los diagnósticos entre otros.

Un sistema de apoyo para la toma de decisión de recetar medicamentos y exámenes a un paciente agrega valor a todo el proceso que este conlleva, siendo reflejado en diversos ámbitos.

Tenemos por ejemplo un impacto en el tiempo de atención por paciente, el cual se ve reducido, pues el médico no perderá tiempo buscando o escribiendo lo que el paciente necesita. Por otro lado, el sistema entregará a sus usuarios y pacientes una aplicación inteligente, contrastando con los procesos en urgencias que aún son desarrollados en lápiz y papel.

Finalmente, se puede mencionar que la calidad de la atención aumenta, pues tener un buen “protocolo” de exámenes o medicamentos a sugerir o advertir, implica una mejora en la efectividad al momento de realizar indicaciones médicas.

Es importante mencionar, que las instituciones de salud deben garantizar, a través de protocolos de procedimiento y normas de trabajo, la seguridad y calidad de atención que reciben los pacientes [9]. Los errores de medicación son frecuentes en las distintas unidades de un centro hospitalario, pero sobre todo en el servicio de urgencias [3], donde convergen una serie de situaciones para que esto ocurra, lo que puede desencadenar eventos adversos por medicación que pudieron ser prevenidos.

Considerando los antecedentes, los errores de medicación son más frecuentes de lo que uno pensaría. Esto desencadenaría con mayor probabilidad en empeorar el estado inicial del paciente, provocando por ejemplo:

- Nuevas intervenciones de cirugía.
- Prolongación del tiempo de hospitalización.
- Daño permanente en el paciente.
- Muerte del paciente.

En el caso de los errores al momento de indicar exámenes, estos causan un gasto innecesario

de recursos del centro de salud y daños que afectan directamente al paciente, como por ejemplo:

- Exposición a radiación.
- Gasto innecesario de tiempo.
- Prolongación del tiempo de hospitalización.

Dado lo anterior un desafío ser uno de los pioneros en desarrollar un sistema que pueda apoyar en la toma de decisiones para estos ámbitos en un hospital público pediátrico chileno, específicamente el Hospital Dr. Exequiel González Cortés en conjunto a la Red Sonreír, la cual es un equipo multidisciplinario que vela por concebir, diseñar y construir procedimientos que beneficien a los procesos de hospital.

Alternativas analizadas

Los sistemas de información proveen distintas formas de acceder a ésta, en su implementación de búsqueda y recolección de datos. Dentro de los sistemas de soporte clínico, existe experiencia de algunas aplicaciones que acreditan que son sistemas que realmente aportan a los diversos procesos donde son implementados [7].

Como antecedente, cabe destacar que previo a este trabajo en la red Ronreír se trató de crear un sistema en el hospital con las características del trabajo de esta propuesta para exámenes, el cual fue basado en un árbol de decisiones, pero los resultados obtenidos no fueron los esperados. Esto se debe a que los datos utilizados mostraron no ser siempre los correctos o adecuados para la solución del problema (un mal conjunto de entrenamiento).

Los sistemas de soporte de decisión clínica, se dividen en dos grupos según el conocimiento previo a su creación.

Tenemos en primera instancia los sistemas de soporte de decisión clínica basados en el conocimiento, que se sustentan en que de antemano se conoce la relación entre elementos del sistema, por lo cual se puede crear el sistema por reglas ya definidas [15]. Son los sistemas más usados.

Por otra parte, existen los sistemas de soporte de decisión clínica no basados en el conocimiento, en el cual no se conoce a priori la interacción entre los elementos del sistema de antemano, por lo que no se pueden definir “reglas” para dichas interacciones. En este tipo de sistemas se suele usar *Machine Learning*, lo que permite que el sistema aprenda con ejemplos y pueda encontrar los patrones que lo modelan, los cuales son ocupados en vez de las “reglas”. A pesar de que estos sistemas eliminan la necesidad de tener “reglas” y la opinión de expertos, no son muy ocupados, debido a que en su mayoría, no son capaces de explicar el por qué de sus conclusiones.

Aquí es necesario mencionar el tema de *interpretabilidad* de los resultados obtenidos.

Existen problemas en los que es necesario explique el por qué del resultado obtenido. Como

ejemplo tenemos los modelos ocupados en financieras para aprobar o rechazar créditos, los cuales explican por qué un cliente es rechazado. Estos tipos de respuestas ayudan a enfocarse en casos particulares, los cuales pueden ser analizados con posterioridad.

Lo mismo ocurre en el área de la medicina, donde es necesario argumentar la mayoría de las decisiones que se toman.

Aunque la mayoría de los métodos basados en *Machine Learning* no pueden explicar sus resultados, pues funcionan como una caja negra, existen técnicas que ayudan a interpretar los resultados obtenidos [5].

Como ejemplo para *Machine Learning*, se tiene el trabajo [10] de un recomendador de exámenes utilizando una Red Bayesiana, basándose en los síntomas de los pacientes, utilizando como entrenamiento solo datos de indicaciones ya realizadas.

Viendo el estado del arte, es posible “clasificar” un conjunto de variables, las cuales serían las relacionadas con el diagnóstico, clasificadas sobre un conjunto finito de exámenes o medicamentos.

Con SOM (Self-Organizing Map) es posible agrupar sets de variables en un espacio de n características [1], para luego poder ser visualizado en un espacio de 2 dimensiones. Además, luego de la agrupación es posible ocupar el mapa creado para clasificación, donde en este caso, el resultado sería el set de exámenes y medicamentos.

Como respaldo para esta técnica, existen trabajos de sistemas recomendadores en el área de salud basados en el vecino más cercano en un conjunto de características [13] y en particular ocupando SOM [14].

La solución elegida para medicamentos se basa en que ya se tiene una base de conocimientos disponible, por lo que queda desarrollar una aplicación que pueda alertar a los médicos cuando realicen una prescripción a través de un nivel de riesgo farmacológico.

En cuanto a los exámenes, dado el antecedente del trabajo anterior, se opta por realizar un análisis de exámenes realizados por diagnóstico ocupando técnicas de extracción de características.

Objetivos

Objetivo General

Mejorar y agilizar los procesos diagnósticos de los pacientes pediátricos de urgencias en un hospital público, por medio de la construcción de un sistema de soporte para decisión clínica de medicamentos y exámenes.

Objetivos Específicos

Para lograr el objetivo general expuesto en este trabajo de título, se propone cumplir con los siguientes objetivos específicos:

1. Implementar un sistema experto, basándose en un grafo que contiene relaciones entre medicamentos y diagnósticos. Este grafo está en posesión del equipo del hospital y es válido para 50 medicamentos.
2. Analizar exámenes indicados por diagnóstico.
3. Comparar las respuestas que entrega el modelo de exámenes contra las que son seleccionadas por los médicos.
4. Lograr que el sistema sea un aporte para los médicos en el área donde se va a ocupar.

Metodología

En primera instancia se tiene la aplicación para medicamentos. Esta aplicación tendrá que poder alertar a los médicos en el momento de que realicen una prescripción basándose en las reglas embebidas en el grafo que contiene la información y relaciones entre fármacos y diagnósticos.

La validación de que el sistema experto a desarrollar entregue los mismos resultados que el *script* que se tiene actualmente [12], se hará comparando las salidas del sistema implementado contra las que entrega el grafo con el *script* actual.

Este *script* cuenta con un prototipo del sistema que se planea implementar, en el que se realizan múltiples *consultas* a una base de datos basada en grafos para obtener niveles de riesgo.

Las respuestas obtenidas de este *script* se van guardando en una base de datos relacional, para finalmente ser combinadas y obtener un nivel de riesgo final para una prescripción.

Cabe mencionar que este prototipo funciona de forma independiente a cualquier sistema implementado en el hospital, por lo que se puede ejecutar de forma individual.

Continuando con la metodología, al guardar una prescripción se debe calcular el riesgo asociado, el cual posteriormente pueda ser visto por el químico farmacéutico (QF) junto a la prescripción de los niños hospitalizados.

Dado que el grafo no contiene todos los medicamentos disponibles en el arsenal del hospital, es necesario que en la aplicación el QF pueda ser capaz de notificar relaciones que no han sido consideradas y además poder recalificar el riesgo calculado.

Una vez terminado el desarrollo, se efectuará una pequeña encuesta sobre la perspectiva de los usuarios con respecto al aporte del sistema de apoyo para medicamentos al proceso de

diagnóstico. De esta manera se podrá tener una idea de la percepción inicial de los usuarios frente al sistema.

En cuanto a los exámenes, se procederá a obtener los exámenes indicados a pacientes bajo un cierto diagnóstico. Luego se armará un arreglo numérico tipo *sparse* en donde estará codificada la indicación de exámenes.

Posteriormente se analizará por medio de técnicas de selección de características los aportes de cada “examen” a la clasificación sobre un diagnóstico.

Una vez obtenidos los arreglos con los exámenes elegidos por diagnóstico, se evaluará el porcentaje promedio de intersección, comparando los resultados entregados desde el modelo obtenido para exámenes contra un conjunto de exámenes que han sido indicados para pacientes con su respectivo diagnóstico (conjunto de validación).

Capítulo 1

Marco teórico

1.1. Farmacovigilancia

La OMS (Organización Mundial de la Salud) tiene establecido en su Programa para el monitoreo Internacional de Medicamentos la farmacovigilancia, la cual se relaciona con cualquier problema que puede relacionarse a los medicamentos, con la finalidad de poder prestar atención a los pacientes de manera de optimizar su terapia con medicamentos, promoviendo la salud, el bienestar y la prevención de enfermedades.

La farmacovigilancia en Chile se inició en 1995, pero sólo un año después se reconoció como integrante del Programa para el Monitoreo Internacional de Medicamentos.

Aunque los procesos de farmacovigilancia pueden considerarse similares en niños y adultos, sólo un pequeño porcentaje de medicamentos usados en niños han sido objeto de estudio clínico riguroso [2].

1.2. Riesgo farmacológico

El riesgo es un concepto que involucra la posibilidad de un resultado adverso y la incertidumbre sobre su ocurrencia, tiempo o magnitud del resultado [4].

Un concepto que se relaciona con el riesgo farmacológico es el de la complejidad farmacoterapéutica [11]. Esta complejidad se basa en la combinación lineal de la complejidad en tres grandes dimensiones relacionadas con: el paciente, la prescripción y los medicamentos.

En la tesis de Johanna Ruiz [12], se ocupa un modelo propio de riesgo farmacológico, basándose en información recopilada desde los químicos farmacéuticos (QF) del hospital Exequiel González Cortés, en los cuales se definen interacciones entre medicamentos, diagnósticos, rangos de dosis según vías de administración, entre otras variables.

Con esta información, es posible calcular un riesgo que pueda definir un grado de alerta presente en una prescripción con respecto a sus posibles resultados adversos.

1.3. Selección de características

La Selección de Características tiene como principal enfoque encontrar un subconjunto óptimo de las características extraídas desde un problema en particular [6].

De manera general, estos problemas se basan en la representación de una *clase* (objeto de estudio) a base de múltiples características obtenidas desde ésta.

Las características obtenidas presuntamente tienen relación con el objeto de estudio, por lo que es necesario generar un subconjunto de estas características, que sea capaz de lograr un nivel de relación aceptable con respecto al objeto de estudio que representan.

Uno de los motivos por lo cual se ocupa esta técnica es el gran costo computacional que conlleva realizar cálculos con vectores de alta dimensionalidad.

Otro argumento proviene de que existen características que son irrelevantes para el problema o no aportan más información.

1.3.1. Etapas involucradas

.

El proceso de selección de características es el siguiente:

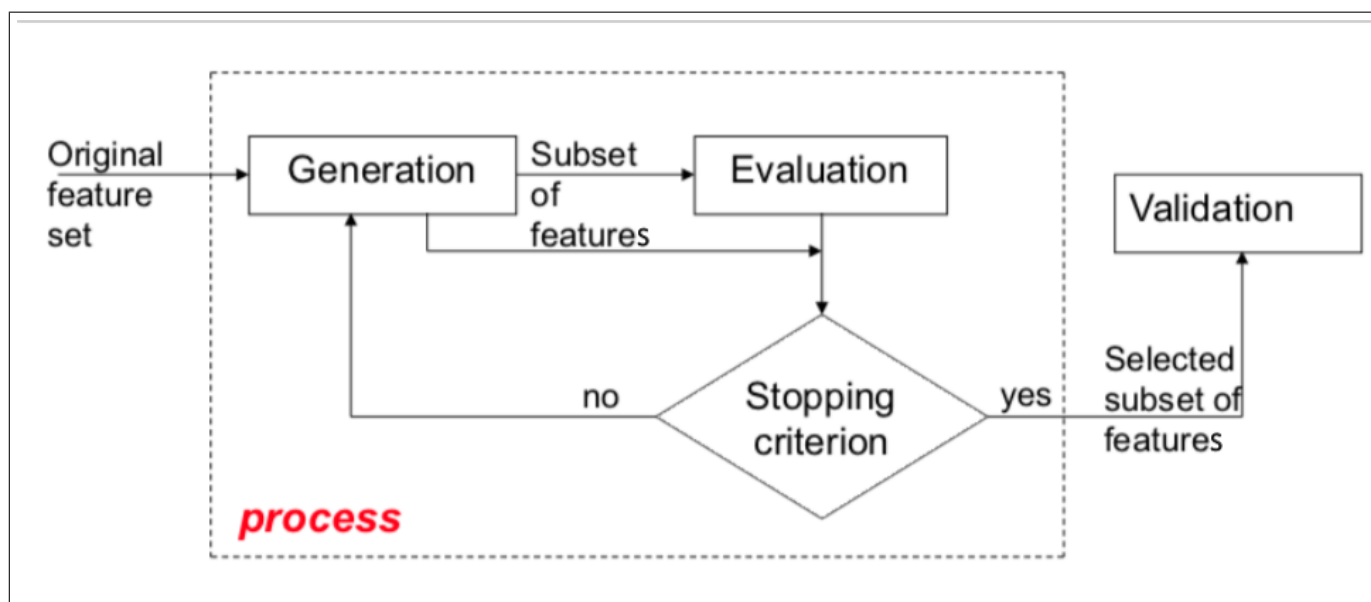


Figura 1.1: Proceso selección de características

Como es posible ver en la Figura 1.1, al proceso ingresa el set de características original y se *genera* un subconjunto de estos.

El subconjunto puede ser *evaluado*, para obtener una métrica (dependiente del criterio de evaluación) o pasar directamente a un criterio de parada en donde se verifica la relevancia del subconjunto seleccionado.

En caso de que cumpla con el criterio de parada, se procede a validar el subconjunto resultando. En caso contrario se vuelve a generar otro subconjunto, volviendo al inicio del flujo.

Generación de subconjuntos

Como se mencionó anteriormente, el primer paso del proceso de Selección de Características se encuentra la generación de subconjuntos.

El primer subconjunto puede ser vacío, con todas las características o con características elegidas de manera aleatoria.

Existen 3 modos de generar los subconjuntos. Estos son :

- **Completa:** En esta forma se van generando todos los subconjuntos posibles del set original para su evaluación. Es posible ver que la cantidad total de subconjuntos para un set con p características, es 2^p . Este es un número muy grande, por lo que un proceso de selección de características generando subconjuntos de forma completa puede tardar mucho.
- **Heurística:** Esta forma de generar los subconjuntos se rige por ciertas reglas. Esta puede dejar algunas características de lado por alguna razón investigada o que se crea que no es relevante para resolver el problema. Pueden generarse subconjuntos predefinidos o de manera incremental. Esto hace que el espacio de subconjuntos sea reducido respecto al completo, lo que hace que el proceso de selección sea más rápido respecto al *completo*. Dada la forma de generación de subconjuntos, algunos que pueden ser relevantes pueden ser omitidos.
- **Random:** Aquí no hay reglas predefinidas para la generación de subconjuntos. Las características son elegidas al azar. Esta modalidad requiere elementos de input, como por ejemplo el número de intentos por lo que la optimalidad del subconjunto creado depende de estos parámetros.

Metodologías de evaluación

Para determinar la relevancia del subconjunto generado, se necesita evaluar éste, para obtener alguna métrica que lo represente.

Existen 5 principales tipos de funciones evaluadoras :

- **Basadas en Distancia:** Aquí se seleccionan aquellas características que admitan instancias de la misma clase dentro de una misma proximidad en el espacio de características, pues las instancias de la misma clase deberían estar más cerca en términos de distancia que las de diferentes clases. Para evaluar los subconjuntos se ocupa generalmente la distancia *Euclidiana*, entre otras medidas de distancia entre vectores.
- **Basadas en información:** En esta función se mide el contenido de información de cierta característica, basado en la entropía. Esta puede ser medida a través de inducción de un árbol de decisión, en donde se decide por una rama de características si la ganancia de información es mayor a sus oponentes.
- **Basadas en dependencia:** Aquí se mide la correlación entre una característica y una etiqueta de clase, es decir, ¿qué tan cerca está la característica relacionada con el resultado de la etiqueta de la clase? También se mide la dependencia entre características, pues mientras mas relacionadas estén las características, una de las dos es redundante pues puede ser expresada por la otra.

Como medición de la correlación se obtienen los valores presentes en la Figura 1.2, donde ambas ecuaciones representan lo mismo, solo que $R(i)$ corresponde al desarrollo matemático de $\mathcal{R}(i)$. En ambas ecuaciones el parámetro i corresponde al índice de la característica que se desea analizar.

$$\mathcal{R}(i) = \frac{\text{cov}(X_i, Y)}{\sqrt{\text{var}(X_i)\text{var}(Y)}}$$
$$R(i) = \frac{\sum_{k=1}^m (x_{k,i} - \bar{x}_i)(y_k - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{k,i} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^m (y_k - \bar{y})^2}}$$

Figura 1.2: Medida de correlación entre características y clase.

- **Basadas en consistencia:** Esta función se basa en instancias inconsistentes. Dos instancias son inconsistentes si tienen valores de características coincidentes pero se agrupan bajo una etiqueta de clase diferente. Esto depende mucho del conjunto de entrenamiento. Para esta función la medida evaluadora es el min-feature, el cual busca el menor subconjunto sin inconsistencias.
- **Basadas en error de clasificación:** A diferencia de las anteriores, las cuales se agrupan entre ellas como *filters*, esta evaluación es *wrapper*, lo que significa que toma en

cuenta el clasificador entrenado por el subconjunto de características, por lo que la evaluación pierde generalidad respecto al set de datos que se ocupa, pero gana precisión en el clasificador entrenado con el subconjunto elegido. Cabe destacar que es computacionalmente costoso, pues por cada subconjunto se debe entrenar un clasificador.

Capítulo 2

Sistema de apoyo de decisión para fármacos

2.1. Problema a abordar y satisfacibilidad

Como ya se ha mencionado, el proceso de prescripción de fármacos está sujeto a una serie de factores que afectan de manera negativa su desarrollo.

Este proceso es muy delicado, pues se está poniendo en juego la salud (incluso la vida) de los pacientes.

Dado que no se puede prohibir que un médico prescriba lo que él encuentre necesario para un caso en específico, el sistema debe alertar al médico en caso de que la prescripción contenga algún efecto adverso, como por ejemplo fármacos contraindicados entre ellos, error en el cálculo de la dosis o frecuencia de administración, de tal manera que sea un aporte en el ámbito de la farmacovigilancia.

Como actualmente sólo se consideran contraindicaciones generales en las prescripciones, el sistema debe ser capaz de considerar la inclusión de correcciones a alertas que son correctas en casos generales, pero existen casos particulares donde la alerta no debería lanzarse.

Las alertas deben mostrarse en pantalla luego de que el médico termine de prescribir, dando la oportunidad de editar algún fármaco o prescribir a pesar de las alertas mostradas.

Actualmente no hay una plataforma donde el QF pueda ver las recetas prescritas, por lo que es necesario crear una plataforma donde pueda ver una lista con los pacientes hospitalizados, junto con una etiqueta que notifique el riesgo general de la receta.

El QF debe ser capaz de ver la prescripción realizada a un paciente en particular, la información personal del paciente y las alertas correspondientes a la receta.

Además el QF debe ser capaz de poder notificar un error en el cálculo del riesgo o la consideración de la eliminación de una alerta para algún caso particular.

El riesgo correspondiente a la receta debe ser modificado (de ser notificado) y el caso particular debe ser almacenado en una base de datos.

Satisfaciendo los puntos anteriores, se tiene un sistema de alerta para médicos y un sistema de monitoreo y edición para el equipo QF, en el que será posible almacenar casos particulares, dando la oportunidad de ser analizados e incorporados a futuro.

Dado que el sistema de alertas debe operar de manera eficiente en el área de urgencias, se considera que la respuesta a las alertas deben ser mostradas rápidamente.

Aunque en la literatura se encuentre un límite de un segundo para mantener ininterrumpido el flujo de pensamiento del usuario [8], en el hospital se considera aceptable que la respuesta pueda ser vista por el usuario en un máximo de dos segundos.

2.2. Roles e interacciones

Es necesario definir cuales son los roles involucrados en el sistema ha desarrollar.

En primera instancia se tiene al *médico*, el cual después de realizar una prescripción, podrá recibir un mensaje con el nivel de riesgo de esta, pudiendo aceptar el riesgo o volver a realizar la prescripción.

Actualmente el *médico* ya interacciona con una aplicación llamada *Ficha Clínica*, en la cual puede ver el historial de un paciente, prescribir medicamentos, indicar medicamentos, entre otras opciones, por lo que es necesario implementar una nueva funcionalidad en la aplicación de la *Ficha Clínica* que muestre el riesgo de las prescripciones.

Por otra parte, se tiene al *químico farmacéutico*, el cual actualmente no tiene interacción directa con alguna aplicación del hospital, por lo que se está hablando de la incorporación de un nuevo rol a nivel general.

El *químico farmacéutico* podrá revisar las prescripciones de los niños que se encuentren hospitalizados, siendo priorizadas por el nivel de riesgo propio de cada prescripción de medicamentos actual.

Actualmente el *químico farmacéutico* realiza esta función revisando las prescripciones de forma manual, sin contar con una medida de prioridad más que el estado de gravedad del paciente y el tiempo hospitalizado.

Es necesario aclarar que revisar las prescripciones de todos los niños diariamente es muy difícil debido a la cantidad de estas y a que el *químico farmacéutico* debe realizar otras actividades por su trabajo, por lo que se necesita de una métrica para poder priorizar y que el *químico farmacéutico* pueda priorizar la revisión, partiendo con las que tengan mayor grado de riesgo.

2.3. Diseño de los servicios

En primer lugar se tiene el mensaje que informa sobre el riesgo asignado al momento de prescribir.

Este mensaje se debe mostrar dentro de la aplicación *Ficha Clínica*.

Luego de guardar los nuevos medicamentos a administrar, se pide la última alerta de riesgo asociada al paciente. Esta alerta contiene los medicamentos y diagnósticos asociados a la atención actual, el nivel de riesgo farmacológico y un arreglo (estructura de datos) con mensajes relacionados al riesgo.

El arreglo de medicamentos de la última alerta (asociada al paciente) se compara con el conjunto de medicamentos activos. En el caso de ser iguales, no se calcula una nueva alerta pues esta sería idéntica a la última alerta lanzada.

El caso anterior se da cuando diariamente, se prescriben los mismos medicamentos para los pacientes. De esta manera se ahorra el tiempo ocupado en calcular un riesgo.

Si son diferentes, prosigue la llamada en donde se obtienen las nuevas alertas para mostrarlas al médico. En este caso el *médico* puede aceptar el riesgo asociado a su prescripción. Al hacer esto, se guarda toda la información relacionada con la alerta (diagnósticos, medicamentos, mensajes y riesgo farmacológico) y se redirecciona a la vista general de *Ficha Clínica*

Existe la opción de que el *médico* no acepte el riesgo de su prescripción, en este caso se devuelve a la vista con el formulario de *Ficha Clínica* dispuesto para formular una nueva prescripción.

Si la prescripción no tuviera riesgo, no se muestra ningún mensaje, pero se guarda la información.

En la Figura 2.1 se puede ver el flujo de llamadas desde el cliente (a la izquierda) hacia los diversos servicios de servidor.

Aquí se representa el consumo de servicios desde que se realiza una prescripción diferente a la última. Esto se puede corroborar en la tercera llamada al servidor (*cálculo-riesgo*), pues si los medicamentos de la última alerta son iguales a los medicamentos activos el flujo terminaría después de la segunda llamada (*obtención-última-advertencia*).

Finalmente se guarda la alerta con sus parámetros ya descritos y el riesgo se guarda como un signo vital.

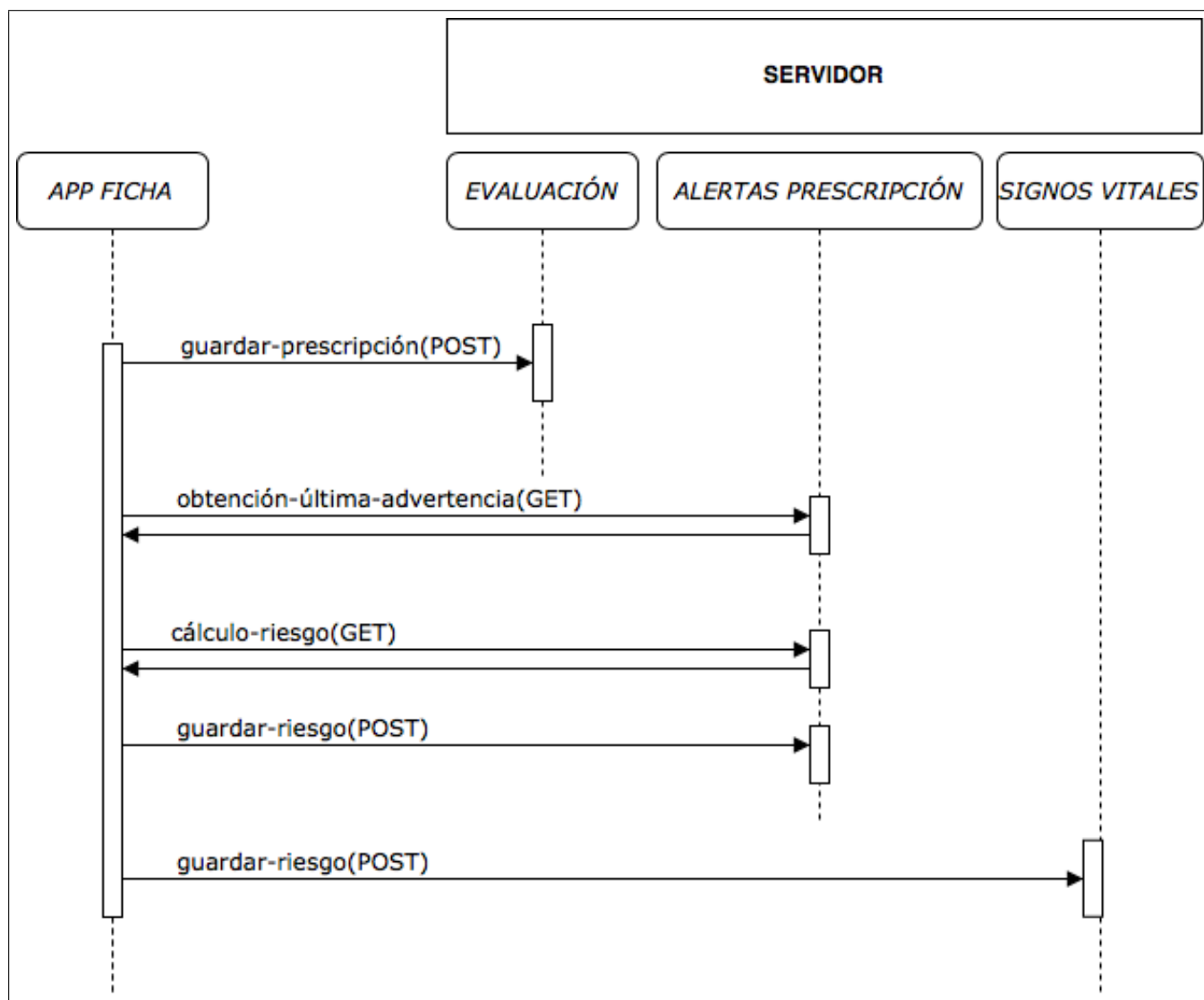


Figura 2.1: Llamadas a servicios al guardar prescripción.

Guardar el riesgo como signo vital, facilita la obtención de esta variable en el siguiente flujo de información.

En el caso del *químico farmacéutico*, se tiene una lista de pacientes hospitalizados, la cual es obtenida directamente desde un *servicio* implementado en la red Sonreír.

Desde este punto el *químico farmacéutico* interactúa con una nueva aplicación llamada *Farmacia Clínica*.

Como es posible ver en la Figura 2.2, para obtener la lista de los pacientes hospitalizados solo es necesaria realizar una llamada al servidor y aquí se obtiene el riesgo como un signo vital realizando una sola llamada al servidor.

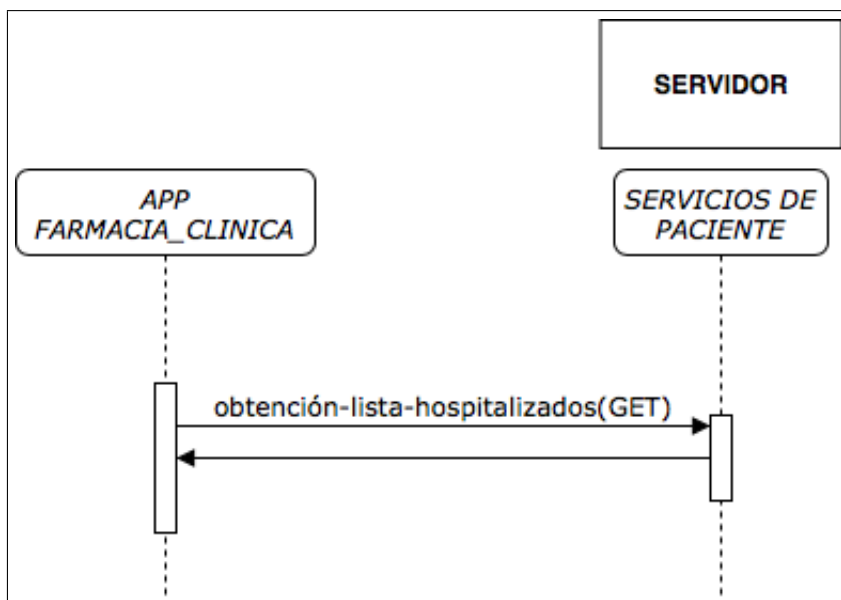


Figura 2.2: Llamada a servicio para obtener listas de pacientes.

En la lista, el *químico farmacéutico* puede filtrar por área de hospitalización. Además puede ver el diagnóstico, previsión y riesgo asociado al conjunto de medicamentos activos.

Es posible seleccionar un paciente, accediendo a una nueva vista en donde puede ver con mayor detalle datos personales del paciente, una lista de los medicamentos activos, el nivel de riesgo y las alertas asociadas.

Como se muestra en la Figura 2.3, desde la aplicación se van consumiendo diferentes servicios para poder mostrar la información pertinente, desde los datos personales del paciente hasta la última alerta generada.

En esta vista el *químico farmacéutico* puede recalificar el riesgo si así lo encuentra pertinente, agregando los motivos por lo cual lo hace.

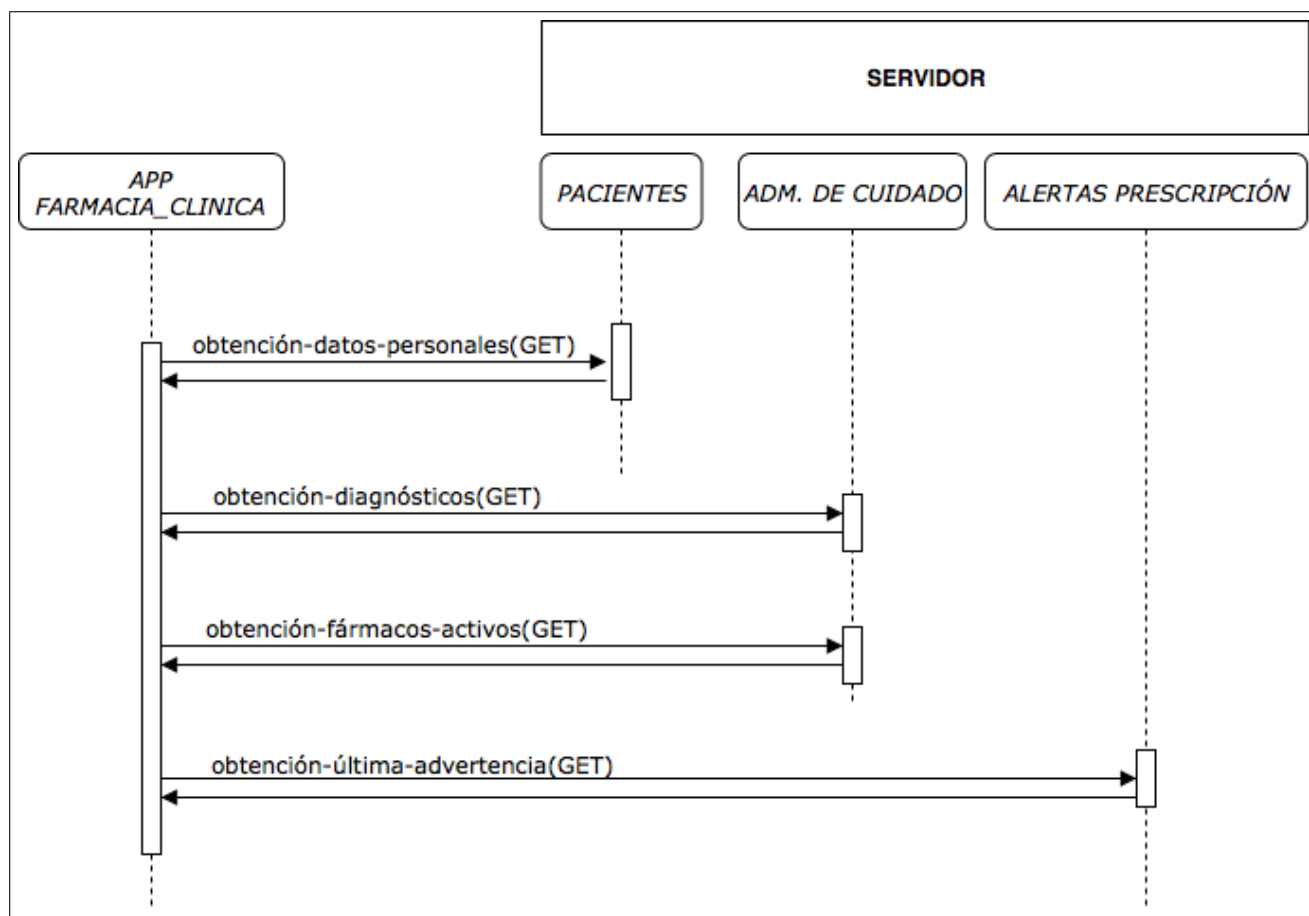


Figura 2.3: Llamadas a servicios en la vista del paciente hospitalizado.

En la Figura 2.4 se ilustra el caso de recalificar el riesgo. En la primera llamada se guarda la recalificación, los motivos, la antigua calificación y en la segunda se agrega un nuevo signo vital, el cual es el nivel de riesgo farmacológico recalificado. Luego de esto, el usuario se mantiene en la misma vista.

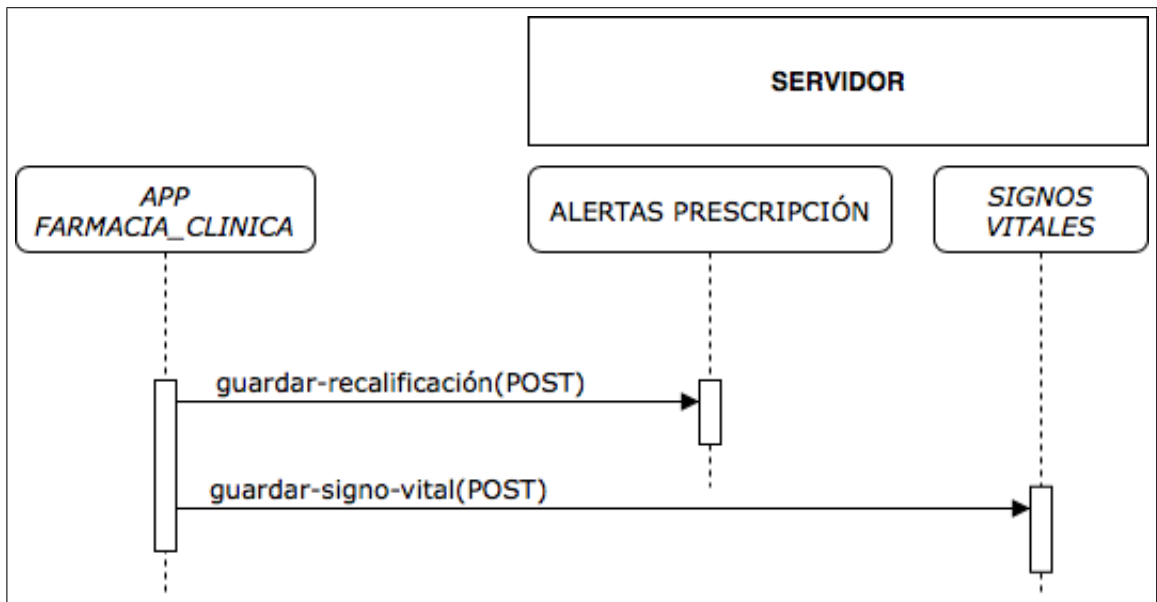


Figura 2.4: Llamadas a servicios para guardar recalificación.

Al volver a la lista de pacientes, de haber realizado una recalificación, los cambios se ven reflejados en los datos que se están mostrando.

2.4. Diseño de interfaces

Dados los requisitos de la aplicación, se plantean tres vistas necesarias, siendo:

1. *Popup* mostrando las alertas a médicos en el caso de que las nuevas indicaciones de medicamentos lancen alertas.
2. Lista de pacientes hospitalizados mostrando el riesgo farmacológico asociado.
3. Vista personal de paciente, en donde se vean sus indicaciones activas, las alertas asociadas y la posibilidad de recalificar el riesgo.

Las vistas fueron evolucionando desde *mockups* hasta vistas mejor desarrolladas gracias al trabajo en conjunto de la red Sonreír y los QF.

DOC.	NOMBRE PACIENTE	EDAD	PREV.	DIAGNÓSTICO	RIESGO	ACCIONES
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	ALTO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	ALTO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	MEDIO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	MEDIO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	MEDIO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	BAJO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	BAJO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	BAJO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	BAJO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	SIN RIESGO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	SIN RIESGO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	SIN RIESGO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	SIN RIESGO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	SIN RIESGO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	SIN RIESGO	
12.345.678-9	ISIDORA PAZ FLORES CARRASCO	11A 10M 11D	FONASA B	QUEMADURA (TIPO A Y AB-A 5% APROX. S.C.T.)	SIN RIESGO	

Figura 2.5: Lista de niños hospitalizados por área.

Es posible ver en la Figura 2.5 una lista en una tabla donde se aprecia los datos del paciente de manera resumida. Lo importante de esta vista es la columna de riesgo, en donde se muestra el riesgo global relacionado a los medicamentos activos en el tratamiento del paciente. De esta manera el QF puede priorizar a que paciente entrar a revisar la prescripción de medicamentos.

Cabe destacar que las áreas del hospital son referidas con símbolos relacionados con la geografía del país (esquina superior derecha de la Figura 2.5). Esta simbolización es dada por el hospital, por lo que es oficial y el personal del hospital la conoce y maneja.

También se puede ver la columna de acciones, en donde el icono de la cara redirige a la ficha del paciente en donde se pueden ver datos de hospitalización, consultas médicas, prescripciones, exámenes y otros datos relacionados a la interacción del paciente con los diversos servicios que presta el hospital.

Además se tiene el icono de la hoja, el cual redirige a la vista personal del paciente, expuesta en la Figura 2.6.

FARMACIA CLÍNICA HOSPITALIZACIÓN
HOSPITAL DR. EXEQUIEL GONZÁLEZ CORTÉS
MA. JOAQUINA
ARRIAGADA

RAFAELA ANTONIA SEPÚLVEDA ÁVILA ♀ 📅 29/08/2011 📍 UPC - PEZ VOLVER

RUT: 25.916.294-2 EDAD: 2A 5M 1D COMUNA: SAN MIGUEL TALLA: - DIAGNÓSTICO: NEUMONÍA, CONJUNTIVITIS AGUDA
 PREV.: FONASA A N° DISP.: 956235 PESO: 8.85 KG S. CORP.: 0,42 M2 ALERGIAS: AL LÁTEX

#	INDICACIÓN	SOLICITADO POR	VÁL. HASTA	UNIDAD	FOLIO	VER RECETA
1	FLUTICASONA, 1 PUFF C/12HRS, ENJUAGAR LA BOCA LUEGO DE CADA ADMINISTRACIÓN	D. MALDONADO 17/10/17 10:18	15/02/2019 18:03	👤	12345678	📄
2	FLUTICASONA, 1 PUFF C/12HRS, ENJUAGAR LA BOCA LUEGO DE CADA ADMINISTRACIÓN	D. MALDONADO 17/10/17 10:18	15/02/2019 18:03	👤	12345678	📄
3	FLUTICASONA, 1 PUFF C/12HRS, ENJUAGAR LA BOCA LUEGO DE CADA ADMINISTRACIÓN	D. MALDONADO 17/10/17 10:18	15/02/2019 18:03	👤	12345678	📄

⚠️ **RIESGO ALTO** RECALIFICAR RIESGO

USO	EL PRINCIPIO ACTIVO VINBLASTINA ES DE ALTO RIESGO
FÁRMACO	OCUPE CON PRECAUCIÓN COTRIMOXAZOL Y OMEPRAZOL , SE RECOMIENDA VIGILAR LOS EFECTOS TÓXICOS DE LOS SUSTRATOS DE CITOCROMO 2C9 , PORQUE ESTA ISOENZIMA PUEDE ACUMULARSE Y REDUCIR EL METABOLISMO
FÁRMACO	OCUPE CON PRECAUCIÓN COTRIMOXAZOL Y VINBLASTINA , SE RECOMIENDA VIGILAR LA TOXICIDAD DEL SUSTRATO CYP3A4 POR EL INCREMENTO DE LAS CONCENTRACIONES DEL SUSTRATO
DOSIS	LA DOSIS DEL COTRIMOXAZOL DE 25 MG CADA 12 HRS ES ALTA . PARA ESTE PACIENTE SE RECOMIENDA PRESCRIBIR COTRIMOXAZOL 1 - 3 MG/KG/DÍA

Figura 2.6: Vista de paciente hospitalizado.

En la vista que se muestra en la Figura 2.6 es posible ver que en primera instancia se muestran los datos personales del paciente, junto a sus diagnósticos y alergias.

A continuación se encuentra una tabla con las indicaciones activas del paciente, el principio activo junto con su indicación de administración, quién prescribió, su fecha de validez y su folio correspondiente.

Al final se encuentra el riesgo asociado a las indicaciones, junto con una tabla que muestra las alertas encontradas, señalando el tipo de alerta y su riesgo en código de colores, siendo el rojo riesgo alto, naranja riesgo medio y verde riesgo bajo.

RAFAELA ANTONIA SEPÚLVEDA ÁVILA ♀ 29/08/2011 UPC - PEZ

VOLVER

RUT: 25.916.294-2 EDAD: 2A 5M 1D COMUNA: SAN MIGUEL TALLA: - DIAGNÓSTICO: NEUMONÍA, CONJUNTIVITIS AGUDA
PREV.: FONASA A N° DISP.: 956235 PESO: 8,85 KG S. CORP.: 0,42 M2 ALERGIAS: AL LÁTEX

#	INDICACIÓN	SOLICITADO POR	VÁL. HASTA	UNIDAD	FOLIO	VER RECETA
1	FLUTICASONA, 1 PUFF C/12HRS, ENJUAGAR LA BOCA LUEGO DE CADA ADMINISTRACIÓN	D. MALDONADO 17/10/17 10:18	15/02/2019 18:03		12345678	
2	FLUTICASONA, 1 PUFF C/12HRS, ENJUAGAR LA BOCA LUEGO DE CADA ADMINISTRACIÓN	D. MALDONADO 17/10/17 10:18	15/02/2019 18:03		12345678	
3	FLUTICASONA, 1 PUFF C/12HRS, ENJUAGAR LA BOCA LUEGO DE CADA ADMINISTRACIÓN	D. MALDONADO 17/10/17 10:18	15/02/2019 18:03		12345678	

RECALIFICAR RIESGO

RIESGO: Alto Medio Bajo Sin riesgo

AÑADIR NUEVO USO: --- Seleccionar --- +

CONCILIACIÓN:	Indique atc de fármacos habituales		+ -	
DIAG. CRÓNICO:	J25	Neumonía bacteriana no clasificada en ot	+ -	
EDAD:	Neonato		+ -	
ALERGIA/RAM:	Indique código ATC		+ -	
DOSIS:	Amikacina	<input type="radio"/> Baja <input type="radio"/> Normal <input type="radio"/> Alta <input type="radio"/> Tóxica <input type="radio"/> Mortal	+ -	
FRECUENCIA:	Amikacina	Mayor a la establecida	+ -	
DURAC. DEL TRATAMIENTO:	Amikacina	Más tiempo del establecido	+ -	
VÍA DE ADMINISTRACIÓN:	Amikacina	Vía incorrecta	+ -	
FÁRMACO - DIAGNÓSTICO:	Contraindicación	Amikacina	J25 Neumonía bacteriana	+ -
FÁRMACO - FÁRMACO:	Contraindicación	Amikacina	Amikacina	+ -
FÁRMACO - ALIMENTO:	Contraindicación	Amikacina	Pomelo	+ -
FÁRMACO - VÍA DE ADMINIST.:	Interactúan en vía	Amikacina	Amikacina	+ -
USO:	Amikacina	No del arsenal		+ -

RIESGO **ALTO**

RECALIFICAR RIESGO

USO	EL PRINCIPIO ACTIVO VINBLASTINA ES DE ALTO RIESGO
FÁRMACO	OCUPE CON PRECAUCIÓN COTRIMOXAZOL Y OMEPRAZOL , SE RECOMIENDA VIGILAR LOS EFECTOS TÓXICOS DE LOS SUSTRATOS DE CITOCROMO 2C9 , PORQUE ESTA ISOENZIMA PUEDE ACUMULARSE Y REDUCIR EL METABOLISMO
FÁRMACO	OCUPE CON PRECAUCIÓN COTRIMOXAZOL Y VINBLASTINA , SE RECOMIENDA VIGILAR LA TOXICIDAD DEL SUSTRATO CYP3A4 POR EL INCREMENTO DE LAS CONCENTRACIONES DEL SUSTRATO
DOSIS	LA DOSIS DEL COTRIMOXAZOL DE 25 MG CADA 12 HRS ES ALTA . PARA ESTE PACIENTE SE RECOMIENDA PRESCRIBIR COTRIMOXAZOL 1 - 3 MG/KG/DÍA

Figura 2.7: Vista de paciente con recalificación de riesgo.

En la Figura 2.7 se muestra una extensión de la vista personal, pero incorporando el contenido que se muestra al hacer *click* sobre el botón *RECALIFICAR RIESGO*.

Se puede apreciar que es posible editar el riesgo global de la prescripción, siguiendo con una lista de 13 variables. De estas variables, en la práctica se descarta la **EDAD**, dando un total de 12 variables.

Estos 12 campos pueden ser seleccionados, múltiples veces y son ocupados para notificar alguna interacción que no está disponible en el grafo o notificar una alerta que no debería estar.



Figura 2.8: Popup de alertas.

Finalmente en la Figura 2.8 se muestra la vista que muestra las alertas al médico luego de hacer la prescripción. La vista muestra el riesgo global junto a las alertas en el mismo formato que se muestran en la vista por paciente, dando la opción de volver a prescribir o asumir el riesgo farmacológico y continuar.

2.5. Diseño físico

2.5.1. Cliente y Servidor

La arquitectura de la aplicación de la Red Sonreír se basa en una arquitectura *API REST*, donde el *front-end* es controlado con el *framework* Vue por medio de *JavaScript*.

Mientras el *back-end* se basa en micro servicios en *php*, los cuales son consultables por medio de una URL.

Los servicios son consumidos desde el *front*, pudiendo ocuparse la librería *axios* o *ajax*, para la carga asíncrona de la vista del usuario.

El *front-end* y *back-end* están implantados de manera redundante en servidores internos del hospital, pudiendo acceder a ellos solo por medio de la red del recinto de salud.

2.5.2. Base de datos

Existen dos tipos de bases de datos. La primera es relacional en *MariaDB*. En ella se encuentran todas las relaciones entre pacientes, diagnósticos, signos vitales, atenciones, dispensaciones, entre otros.

La segunda base de datos *Neo4j* basada en grafos. En esta base se encuentran las relaciones entre fármacos, diagnósticos y vías de administración.

En este grafo se encuentran 50 de los fármacos más dispensados en farmacia, hay 142 diagnósticos con sus respectivos códigos CIE10 (códigos para diagnósticos de la WHO) y 6 vías de administración.

En la Figura 2.9 se puede ver el modelo de relaciones teórico del conocimiento que se encuentra en el grafo. En este modelo las indicaciones, contraindicaciones y precauciones son las relaciones que vinculan dos nodos los cuales pueden ser fármacos, diagnósticos, alimentos y vías de administración.

Cada relación contiene en su cuerpo las variables que se muestran en la figura, las cuales son accesibles dentro del grafo.

Al revisar el contenido del grafo, se encuentran los tres tipos de relaciones (indicaciones, contraindicaciones y precauciones), pero solo tres tipos de nodos: fármaco, diagnóstico y vía de administración.

Entre estos nodos existe un total de 9088 relaciones.

La información contenida en la base de datos fue obtenida por medio de 50 formularios en *Excel*, rellenos por el químico farmacéutico del hospital [12].

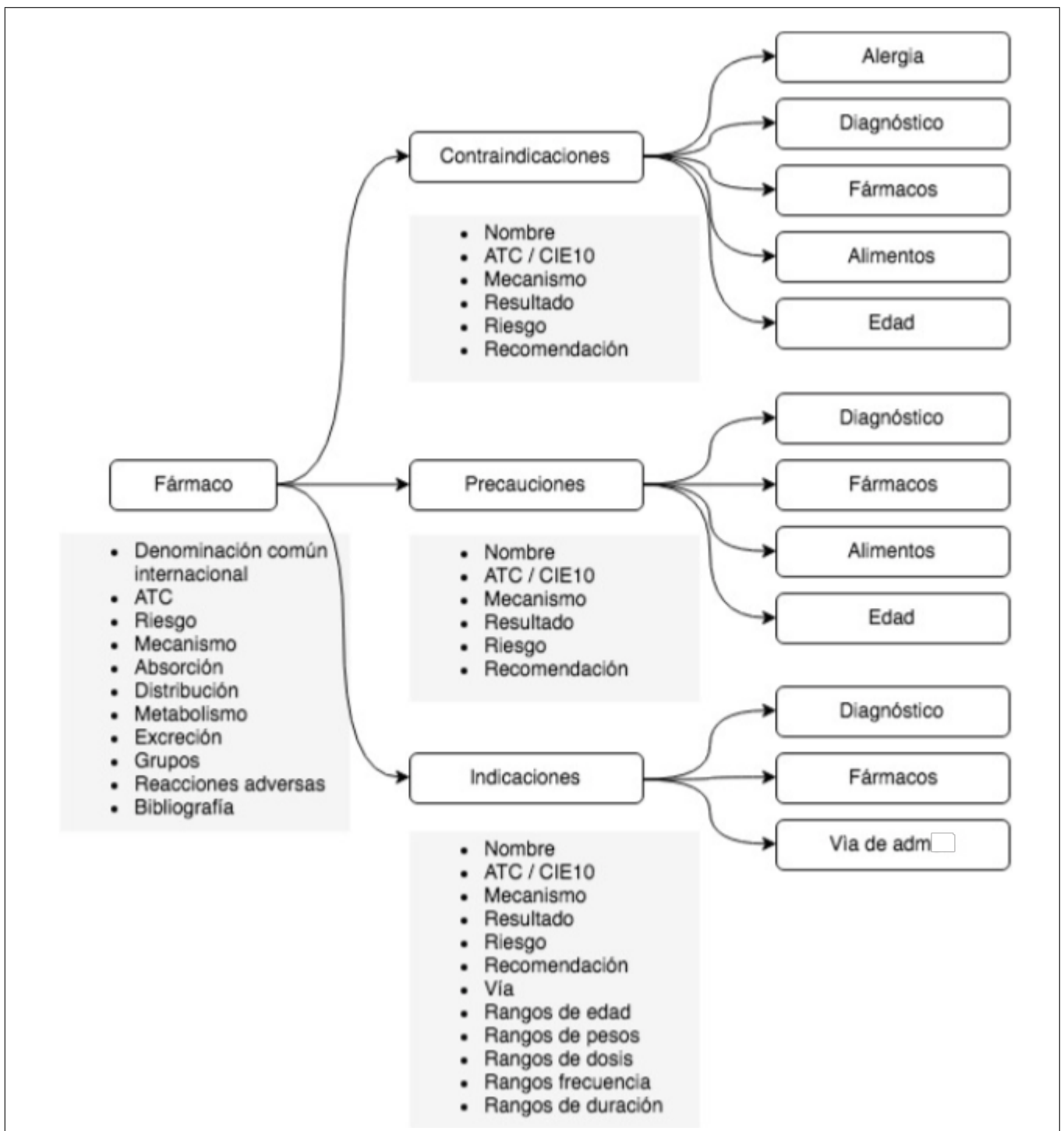


Figura 2.9: Modelo teórico de relaciones de farmacia.

Cada formulario contiene el nombre del medicamento, su código ATC (códigos de medicamentos según la WHO), las variables para fármacos descritas en la Figura 2.1 y la lista de relaciones hacia otros fármacos, diagnósticos y sus diferentes vías de administración.

2.6. Construcción

2.6.1. Trabajo sobre el grafo

Primero que todo es necesario instalar librerías necesarias para poder establecer la conexión entre la base de datos y el código *Php*. Para esto fue necesario instalar *Composer* con el que se incorporan las dependencias necesarias.

Dado que se está trabajando con *Php 7.1* y *Neo4j 5.3*, se debió instalar *neo4j-php-client* 4.8 y *Guzzle 6.3* con ayuda de *Composer*.

No todas las versiones de *Php* son compatibles con todas las del cliente de *Neo4j*. Se está trabajando con estas versiones porque son las ocupadas en el área de *producción* de los sistemas de hospital.

Luego de establecer la conexión, se procede a analizar de manera general los nodos, encontrándose algunos detalles.

Medicamento	Código
"	"
"Nitroglicerina"	"
"Famotidina"	"A02BA03"
"Omeprazol"	"A02BC01"

Figura 2.10: Ejemplos de nodos vacíos en la base de datos.

Al ver la Figura 2.10 es clara la existencia de nodos de medicamentos “vacíos” e incluso, algunos sin código ATC.

Revisando estos nodos, se podrían borrar pues no se relacionan con ningún otro nodo pero se decide dejarlos. En el caso de nodos con nombre pero sin código, existe otro nodo con el nombre y el código correspondiente el cual sí tiene conexiones con otros nodos.

También existen nodos de fármacos duplicados e incluso nodos en los que el código ATC/DDD es el mismo pero el nombre difiere levemente (ejemplo: Penicilina y Penicilina Sódica), lo que es posible ver en la Figura 2.11.

Al revisar este caso, los nombres “genéricos” diferentes de los fármacos, coinciden con el principio activo al que hacen alusión con su código ATC.

En cuanto a la duplicidad de nodos corresponde a que el generador (script que transforma desde los formularios Excel a lenguaje Cypher), genera un nuevo nodo de fármaco cuando se referencia desde otro formulario, por lo que aunque el nodo tenga el mismo código ATC, las relaciones que forman con otros nodos son distintas.

Medicamento	Código
"Aprepitant"	"A04AD12"
"Fosaprepitant"	"A04AD12"
"Insulina NPH lenta"	"A10AD01"
"Insulina lenta"	"A10AD01"
"Espironolactona"	"C03DA01"
"Espironolactona"	"C03DA01"
"Diltiazem"	"C08DB01"
"Diltiazem"	"C08DB01"
"Penicilina"	"J01CE01"
"Penicilina"	"J01CE01"
"Penicilina sódica"	"J01CE01"
"Penicilina sódica"	"J01CE01"
"Amfotericina"	"J02AA01"
"Amfotericina"	"J02AA01"
"Anfotericina"	"J02AA01"
"Anfotericina"	"J02AA01"

Figura 2.11: Ejemplos de nodos repetidos en la base de datos.

Se decide dejar los nodos tal como están, de tal manera de hacer *consultas* que sean robustas a este tipo de situaciones, es decir, que funcionen tanto con nodos únicos como duplicados.

2.6.2. Alertas y riesgos parciales

Como ya se mencionó, se debe implementar un servicio que sea capaz de recibir los argumentos necesarios para devolver una lista de consideraciones a tener en cuenta sobre una prescripción.

Las consideraciones deben extraerse del grafo, haciendo las *consultas* correspondientes para encontrar precauciones y contraindicaciones entre fármacos y entre fármacos y diagnósticos.

El grafo también contiene la información para las dosis por paciente, según su peso y edad, por lo que es necesaria una *consulta* para ello también.

Como modelo a considerar se tiene un *script* [12], al que se le pueden dar los fármacos junto a sus dosis y frecuencia, el peso, la edad y los diagnósticos y este retorna las indicaciones a tener en cuenta con los argumentos ingresados.

El problema de ese script es que consigue los argumentos desde una base de datos de prueba y la ejecución para cuatro fármacos demora más de 45 segundos, lo que resulta un exceso.

Al analizar el código se percata que las *consultas* se realizan de a una por cada fármaco para encontrar relaciones con el diagnóstico, luego se hace otra por cada dupla de fármacos para encontrar la relaciones entre ellos, para finalmente hacer otra consulta y encontrar los rangos de dosis, por lo que el tiempo de ejecución depende directamente del número de fármacos y diagnósticos involucrados, lo que resulta desfavorable para el *rendimiento* de un servicio que necesita responder lo más rápido posible.

Para superar este problema, se analizan las *consultas* y se formulan nuevas, de tal manera que por cada una se puedan agrupar los fármacos y diagnósticos correspondientes y hacer una sola llamada al grafo por tipo de consulta.

Cabe destacar que se utilizan métodos de *anti-injection* propios de *GraphAware* (librería para establecer conexión y consultas con Neo4j). De esta manera se evitan ataques que puedan borrar o modificar la información contenida en el grafo.

Siguiendo con el trabajo, se crean tres *consultas*, en las que se agrupan fármacos y diagnósticos, haciendo la consulta en grupo, evitando los nodos vacíos, tomando en cuenta los nodos duplicados e ignorando relaciones repetidas, por ejemplo, si el fármaco *A* se relaciona con el *B*, el fármaco *B* también se relaciona con el *A* (son conmutativas), pero es necesario solo mostrar una vez la relación, por lo que es necesario filtrarla para que no salga duplicada. Esto se hace directamente en la *consulta*.

```
MATCH
    (f:farmaco) -[r]->(i:farmaco)
WHERE
    i.id_farmaco IN {conjunto} AND f.id_farmaco IN {conjunto} AND i <> j
RETURN
    type(r) AS tipo_relacion ,
    r.mecanismo AS mecanismo ,
    r.recomendacion AS recomendacion ,
    r.riesgo AS riesgo ,
    r.resultado AS resultado ,
    i.id_farmaco AS farmaco1_id ,
    i.farmaco_name AS farmaco1_name ,
    f.id_farmaco AS farmaco2_id ,
    f.farmaco_name AS farmaco2_name ,
    id(r) as relacion_id ';
```

Por ejemplo en el código anterior, se muestra la *consulta* para obtener las relaciones entre fármacos. En la variable *conjunto* se encuentra la lista de los códigos ATC de los fármacos. En esta *consulta* lo más importante se encuentra en el *MATCH*, específicamente la sentencia *-[r]->*, en donde *r* representa la relación que vincula dos fármacos y la flecha (*->*) evita la duplicidad provocada por la conmutación de la relación.

Por otra parte, es necesario definir niveles de riesgo para cada una de las alertas que se vayan encontrando, los cuales son bajo, medio y alto. Estos niveles fueron definidos en conjunto por el equipo médico del hospital y la Red Sonreír.

Las alertas entre fármacos y diagnósticos, se obtienen directamente desde el grafo, pero las alertas de dosis se deben calcular.

Para esto se obtienen los rangos de dosis para un fármaco en una vía determinada. Estos rangos tienen que ver con dosis mínima, máxima, tóxica y mortal, edad mínima, máxima, peso mínimo y máximo.

La edad y peso mínimo tienen que ver con el piso mínimo que debe cumplir un paciente para que el fármaco pueda ser administrado. Generalmente la edad mínima son 30 días, pues antes que eso el paciente es considerado neonato, lo que de por sí genera un nivel de riesgo.

En el caso de que el paciente supere la edad y peso mínimo, se calcula la dosis total administrada para un día correspondiéndose con su peso, obteniendo así la dosis en *mg/kg/day*.

Esta unidad de medida es la que se compara con la dosis mínima, máxima, tóxica y mortal. Si la dosis se encuentra en alguno de esos rangos, se guarda un mensaje con el nombre del fármaco, el rango en que está la dosis y la dosis recomendada (entre la dosis mínima y máxima).

Si la dosis es baja o alta, el mensaje está relacionado con un riesgo de nivel medio. En el caso que sea tóxica o mortal el nivel de riesgo es alto.

Además al momento de validar las dosis, también se valida si el fármaco es de alto riesgo, de manera de que si lo fuese, se guarda una alerta indicando que el fármaco administrado es de alto riesgo junto con su nivel de riesgo parcial, el cual es alto.

En el caso de alertas entre fármacos, si éstos son contraindicados, se guarda un mensaje que indica que dos fármacos son contraindicados, la razón de por qué lo son y una recomendación sobre su uso. El nivel de riesgo para esta alerta es alto.

Por el contrario, si los fármacos presentan una interacción etiquetada como precaución, se guarda un mensaje similar al que se guarda si son contraindicados, pero señalando que se deben administrar con precaución, el por qué y recomendaciones para la administración. El nivel de riesgo en este caso es medio.

Por otra parte se tienen las interacciones entre fármaco y diagnóstico. En el caso que son contraindicados, el mensaje guardado lo señala, se explica porqué y cual es la recomendación, siendo su nivel de riesgo alto.

En el caso de que una interacción entre fármaco y diagnóstico sea de precaución, se procede a un mensaje igual a los casos anteriores, indicando qué fármaco debe administrarse con precaución para qué diagnóstico, las razones de la precaución y la recomendación. En tal caso el nivel de riesgo es medio.

Una vez obtenidas las alertas desde la lógica de las *consultas* al grafo, se procede a verificar si el paciente es neonato. En el caso de que sí lo sea se agrega un mensaje, indicando que el paciente es neonato, con un nivel de riesgo bajo.

2.6.3. Cálculo de riesgo global

Una vez obtenidas la alertas y los riesgos asociados a ellas, es necesario obtener un riesgo global que categorice la prescripción de manera que se pueda “priorizar” la revisión de alguna receta sobre otra.

Para este valor se definen cuatro niveles de riesgo según una serie de normas y reglas definidas a priori entre el equipo químico farmacéutico y la Red Sonreír.

Los niveles de riesgos son catalogados como alto, medio, bajo y sin riesgo.

Estos son obtenidos siguiendo la serie de reglas obtenidas desde la tesis de Johanna Ruiz [12], los cuales se detallan en la Figura 2.12.

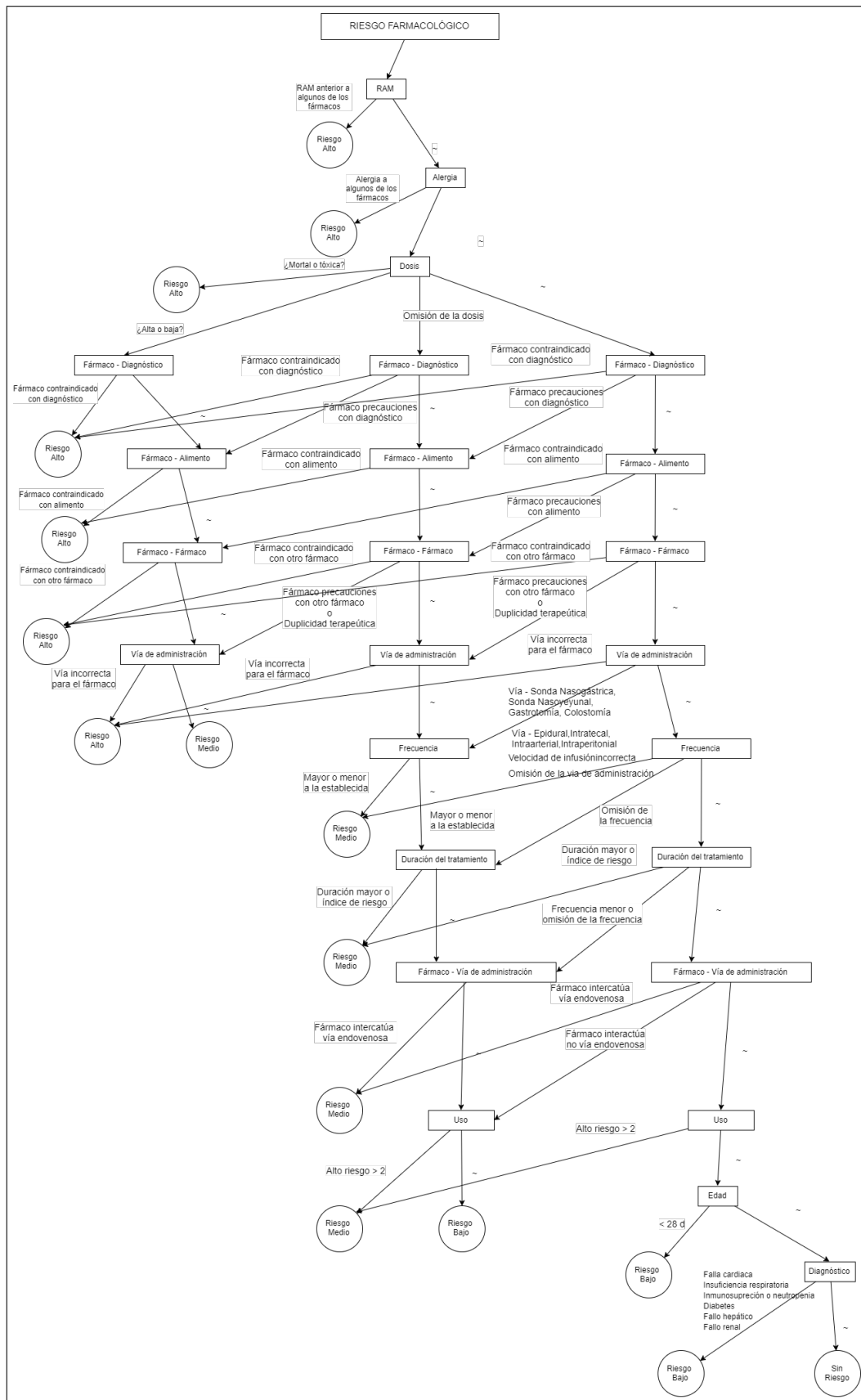


Figura 2.12: Árbol de decisión para el cálculo de riesgo global.

El problema de este árbol de decisiones es que posee variables que aún no son accesibles en la actual aplicación del hospital, como por ejemplo las alergias, las cuales aún no están codificadas.

También hay otras variables a tomar en cuenta, como interacción de fármacos en vía, si la vía de administración es incorrecta o si la duración del tratamiento no es la adecuada.

Bajo esa premisa, se habla con la Red para formalizar qué variables ocupar y de esa manera replantear el árbol de decisión (podarlo) o implementarlo en totalidad y omitir las variables que no son accesibles aún.

Se decide replantear el árbol de decisión con las siguiente variables:

- Dosis tóxica.
- Dosis mortal.
- Fármaco contraindicado con diagnóstico.
- Fármaco contraindicado con otro fármaco.
- Fármaco con precaución con diagnóstico.
- Fármaco con precaución con otro fármaco.
- Fármaco de alto riesgo.
- Omisión de vía.
- Dosis alta.
- Paciente neonato.

El analizar lógicamente el árbol sin las variables que se dejaron fuera, se puede descomponer en variables que definen el riesgo por si solas.

Por ejemplo si se encuentra en la prescripción alguna: dosis tóxica, dosis mortal, fármaco contraindicado con diagnóstico o fármaco contraindicado con otro fármaco, el riesgo global es inmediatamente *alto*.

En el caso de que no se encuentren las variables de riesgo alto, pero se encuentra: fármaco con precaución con diagnóstico, fármaco con precaución con otro fármaco, fármaco de alto riesgo, omisión de vía o dosis alta, el riesgo global es *medio*.

Si no se encuentra nada de lo anterior, pero el paciente es neonato, el riesgo es *bajo*.

Finalmente, en el caso que pase los tres filtros anteriores, el riesgo global es *sin riesgo*.

Estos casos se pueden generalizar para las variables que actualmente no son accesibles, pero se puede implementar tomándolas en cuenta, mas no afectan al resultado al ingreso de menos variables, dejando las relaciones como sigue en la Tabla 2.1.

Para calcular el riesgo global, se hace mientras se están procesando las alertas con sus riesgos parciales. Se tiene un diccionario global, de tal manera que cada vez que una de las variables afectadas es encontrada, se registra en el diccionario con un *flag* positivo.

Luego del procesamiento de los riesgos parciales, se toma el diccionario buscando desde

Variable	Riesgo global relacionado
Alergia	Alto
Dosis tóxica	Alto
Dosis mortal	Alto
Fármaco contraindicado con diagnóstico	Alto
Fármaco contraindicado con fármaco	Alto
Vía de administración incorrecta	Alto
Fármaco con precaución con diagnóstico	Medio
Fármaco con precaución con fármaco	Medio
Fármaco de alto riesgo	Medio
Fármaco interactúa en vía	Medio
Omisión de vía	Medio
Dosis Alta	Medio
Paciente neonato	Bajo
Diagnóstico crónico	Bajo

Tabla 2.1: Riesgos globales asociados a las variables encontradas en la prescripción

las variables más críticas (desde alto a bajo riesgo). De encontrarse alguna, el riesgo global corresponde al relacionado a la variable. De lo contrario no hay riesgo en la prescripción.

2.6.4. Servicios

Para cumplir con las necesidades de los requerimientos, es necesario agregar a la API del hospital tres nuevos servicios.

El servicio más importante es el consultado para obtener las alertas con sus respectivos riesgos parciales y su riesgo global.

Método	URL
GET	<i>http://api.en.hegc.cl/hlth/prescription-warnings/</i>
GET	<i>http://api.en.hegc.cl/hlth/saved-prescription-warnings/</i>
POST	<i>http://api.en.hegc.cl/hlth/save-prescription-warnings/</i>

Tabla 2.2: Nuevos servicios incorporados a la API

Como se puede ver en la Tabla 2.2 se agregan dos servicios con método GET y uno con método POST. El primer servicio corresponde al que entrega las alertas y los riesgos. Este servicio recibe un JSON codificado de la siguiente manera:

```
{  "diagnosticos" : {<codigos_CIE10>},
  "edad"         : <edad_dias>,
  "peso"         : <peso_kg>,
  "farmacos"    : {{<ATC> , <via> , <dosis_mg> , <frecuencia_hrs >},...}
}
```

Con estos datos va calculando las alertas descritas en la sección 2.5.1. Una vez que termina este proceso, calcula el riesgo global, entregando ambas variables.

Los dos últimos servicios de la Tabla 2.2, tienen el trabajo de guardar las alertas, riesgos y recalificación en la base de datos MariaDB (método POST) y de entregar la recalificaciones guardadas para una atención en particular, accediendo a la misma tabla.

Para implementar estos servicios, se programa un nuevo objeto dentro de los ya existentes en el *back-end* de las aplicaciones de la Red Sonreír. Este objeto se llama *HLTHService_PrescriptionsWarning.class.php*, en el cual se importan otras clases del *back*, las que se ocupan para la conexión a MariaDb, codificación y decodificación de JSON y manejo de excepciones en el *servidor*.

2.7. Pruebas

Para probar la validez de las alertas que son entregadas, se comparan las salidas obtenidas con las *consultas* prototipo [12] contra las respuestas del servicio implementado.

Para esto se escribe un script en *php*, en el que se realizan llamadas para distintas combinaciones de prescripciones, las cuales se ejecutan de forma local.

Al ejecutar el script y comparando las salidas obtenidas, se constata que las respuestas son las mismas, pero difieren en el tiempo de ejecución.

Mientras las *consultas* prototipo demoran entre 30 a 60 segundos (pues dependen del número de fármacos y diagnósticos involucrados), las nuevas *consultas* demoran entre 0,5 y 1 segundo.

En el caso del riesgo total, se valida de la misma manera, es decir, creando un script que ejecute la implementación del árbol de decisiones prototipo y la implementación basada en variables asignadas a un riesgo.

Se corre el script de manera local con alrededor de 16 mil combinaciones (2^{14}), obteniendo los mismos resultados para ambas implementaciones, en un tiempo similar, sólo diferenciándose en el largo del código. Mientras que el árbol de decisión tiene más de 300 líneas de código, la clase implementada sólo tiene 50.

Dado los resultados obtenidos, es posible decir que la nueva implementación entrega los resultados que debiese entregar, no teniendo diferencia alguna (en el contenido de la información) con la implementación prototipo.

2.8. Validación de la aplicación

Una vez desarrollada la aplicación, es puesta en los servidores de Quality Assurance (QA) para poder ser testeado en búsqueda de *errores*, tanto de programación como de error en el lanzamiento de las alertas por prescripción. Esta labor cae en manos del equipo de QA de la red Sonreír.

Una vez resueltos los *errores*, la aplicación es validada por medio de un formulario con 5 preguntas, en las cuales se trata de calificar la cobertura que la aplicación da al problema original y de qué manera afecta la labores de sus usuarios finales.

2.8.1. Cumplimiento de requisitos

Las dos primeras preguntas del formulario tienen por finalidad vislumbrar qué tanto se ajustaron los requisitos al problema a abordar y qué nivel de cumplimiento fue alcanzado.

Estas preguntas fueron contestadas por 3 integrantes de la red Sonreír, el Director Ejecutivo (CEO), el Director de operaciones (COO) y la Jefa de Proyecto.

La primera pregunta es: *¿ El sistema implementado cumple con los requisitos definidos en un principio ?*

En esta pregunta se alcanzó un 4 (en escala de 1 a 5), pues quedaron pequeños detalles de visualización de la información, los cuales son necesarios pero no se encuentran en el *core* del problema.

Uno de los detalles que no se alcanzaron a implementar, pues se dejaron hasta el final, fue la implementación de un filtro en la vista que contiene la lista de los pacientes, en que el **químico farmacéutico** pueda buscar un paciente por su nombre, diagnósticos o fármacos activos en su tratamiento.

Este no se alcanzó a implementar, pues para poder filtrar pacientes por fármaco administrado es necesaria otra llamada al servidor en donde se obtengan todos los fármacos. Actualmente esta llamada es muy pesada lo que ralentiza la actualización de la aplicación, por lo que se debía reestructurar la llamada (quizás hasta el servicio mismo) para poder consumirla de una manera más eficiente.

La segunda pregunta es: *Los requisitos, ¿dan cobertura a los problemas abordados ?*

En esta pregunta se obtuvo el máximo puntaje, lo que indica que los requisitos definidos cubren la necesidad del problema.

Dado los resultados, es posible inferir que los requisitos están bien definidos para dar solución al problema y que la versión final de la aplicación cumple con la mayoría de estos, en particular con los requisitos más importantes.

2.8.2. Validación de las interfaces

Esta sección es respondida por el CEO, COO, la Jefa de Proyecto y la diseñadora de la red Sonreír.

En esta sección solo hay una pregunta, la cual es: *¿ La interfaz gráfica se acomoda visualmente al resto de las aplicaciones del hospital ?*

En este ítem se logra la máxima puntuación (5/5). Esto es debido a que las vistas fueron concebidas en conjunto con los requerimientos de los usuarios finales y la diseñadora gráfica de la Red Sonreír, por lo que el estilo de las vistas encajaba con el diseño del resto de las aplicaciones de la Red.

2.8.3. Validación de aporte al usuario

En esta sección hay dos preguntas, las cuales involucran a los médicos y el equipo QF del hospital frente a la aplicación.

La primera pregunta corresponde a la selección múltiple a la respuesta de: *Para el médico, la aplicación es* . Teniendo como opciones:

- Un apoyo en su procedimiento.
- Indiferente a su procedimiento.
- Un obstáculo en su procedimiento.
- Otro: (*Respuesta abierta*).

La respuesta obtenida fue la opción: *Un apoyo en el procedimiento*, la cual es la mejor opción.

Esta pregunta fue contestada por las dos médicos, que trabajan junto con la red Sonreír.

En cuanto a la segunda pregunta corresponde a la selección múltiple a la respuesta de: *Para el QF, la aplicación es*. Teniendo como opciones:

- Un apoyo en su labor.
- Indiferente a su labor.
- Un obstáculo en su labor.
- Otro: (*Respuesta abierta*).

En este caso la respuesta también es la opción máxima: *Un apoyo en su labor*.

La última pregunta fue contestada por el químico farmacéutico jefe del hospital.

Teniendo en consideración los resultados obtenidos, se consta que la aplicación ha logrado un impacto positivo en los procedimientos que involucran a los usuarios.

2.9. Discusión

En primer instancia cabe destacar que el sistema implementado contiene un trabajo mayor en el *back-end*. Esto es pues el núcleo de lo que se implementó se encuentra en la capa lógica.

Es posible apreciar que el cálculo del riesgo de una prescripción y las alertas asociadas tiene una importancia mayor dentro del trabajo, pues si esta parte no funciona o entrega información errónea, el resto del sistema no tendría ningún impacto.

Teniendo en consideración lo anterior, los servicios en la API fueron probados de manera que realizaran la función que se deseaba y entregaran la información correcta.

Ya que se priorizó las pruebas de los servicios de la API, se dejó de lado las pruebas sobre la interfaz gráfica y del sistema de manera general en este trabajo. Esta labor la realizó el equipo de *QA*.

Es importante mencionar que una de las partes críticas reside en la obtención de la información experta, la cual puede tardar demasiado tiempo recolectarla. Para este trabajo se tiene a favor que este material fue recolectado con anterioridad [12].

En cuanto el sistema en sí, se logra implementar servicios en una API que responde en un tiempo aceptable (menos de 1 segundo), lo que ayuda a que la interacción sobre la interfaz gráfica se sienta fluida.

Aunque hasta el momento el sistema se encuentra en los servidores de *QA*, se espera que luego de ser implementadas las funcionalidades pendientes, este pase a los servidores de *producción* y pueda ser utilizado en el hospital de manera cotidiana.

Capítulo 3

Modelo para exámenes por diagnóstico

3.1. Problema a abordar

En contraste al sistema de apoyo para fármacos, los exámenes no cuentan con un modelo en el cual basarse para entregar información que pueda influir en la decisión al momento de indicarlos a un paciente, por lo que es necesario generarlo.

El modelo se basará en las indicaciones ya realizadas a pacientes, por lo que será un modelo no basado en conocimientos, por el contrario se aprenderá desde ejemplos encontrando el patrón de indicaciones por exámenes, por medio de métodos de selección de características.

Para lo anterior se obtendrán los exámenes indicados por paciente, en una cierta atención, relacionado con un diagnóstico.

3.2. Obtención de datos

Al igual que los servicios de la API del hospital, la base de datos se divide en tablas relacionadas con los elementos que interactúan en los diversos procesos, como por ejemplo pacientes, evaluaciones, indicaciones y servicios al paciente.

Para obtener los datos necesarios a ocupar, se tiene que realizar una *consulta* directa en *Heidi*¹, en donde se tienen que hacer *INNER JOINS* para poder relacionar las tablas de indicaciones por paciente en una evaluación, dando un total de tres *JOINS*.

Luego de realizar la *consulta*, se obtiene una tabla con 55760 indicaciones para distintos pacientes y diagnósticos.

La tabla se exporta como un *csv*, para luego ser importada por un *script* de *python* por

¹Software con interfaz gráfica para conectarse a una base de datos relacional, en la que es posible ver, editar y hacer consultas a la base de datos.

medio de la librería *Pandas* para un mejor manejo en su manipulación.

Se recorre la tabla encontrando todos los diagnósticos y exámenes diferentes, encontrando 951 diagnósticos diferentes con su respectivos códigos CIE10 y 437 exámenes diferentes.

Finalmente se agrupan los exámenes para un mismo paciente y relacionado con el mismo diagnóstico. Con el set de exámenes se crea un vector *sparse* (vector con muchos espacios en cero) en donde el índice que identifica a cada examen presente se encuentra codificado con un 1.

Es necesario recordar que el vector *sparse* debe tener largo de 437 (cantidad de exámenes).

Una vez obtenidos los vectores relacionados a un diagnóstico se exportan en formato *csv* para modificar el archivo y que pueda ser compatible con *Weka*²

Al visualizar los datos recopilados, se tienen 939 diferentes diagnósticos, de los cuales la gran mayoría solo tiene 1 o 2 instancias que la representan.

Dado lo anterior se decide probar con los diagnósticos con mayor cantidad de ejemplos, de esta manera se tendrá un set de datos más representativo, además un set de validación mayor.

Los 10 diagnósticos con más ejemplos se detallan en la Tabla 3.1.

Diagnóstico [CIE10]	Detalle	Cantidad de ejemplos
J209	Bronquitis aguda, no especificada	2200
R509	Fiebre, no especificada	1767
R10	Dolor abdominal y pélvico	1037
J00	Rinofaringitis aguda	735
J18	Neumonía, organismo no identificado	702
N390	Infección de vía urinaria, sitio no especificado	556
J44	Otras enfermedades pulmonares obstructivas crónicas	338
K590	Constipación	328
M255	Dolor en articulación	268
T181	Cuerpo extraño en el esófago	228

Tabla 3.1: Top 10. Diagnósticos con más cantidad de ejemplos

Este conjunto se separa en dos. Un subconjunto con el 70% de los datos para estudiarlo y construir un modelo y otro subconjunto con el resto, para ocuparlo en la validación.

²Software con el que es posible explorar, analizar, seleccionar y clasificar datos desde una interfaz gráfica.

3.3. Selección de características

Teniendo filtrados los diagnósticos, se procede a analizar por diagnóstico los exámenes representativos de cada uno.

Lo primero que se hace es borrar del vector representativo todos los exámenes que no son indicados por cada diagnóstico.

De esta manera el largo del vector que define a cada diagnóstico se ve disminuido, facilitando la visualización de los datos y la convergencia a los resultados debido a la disminución de dimensionalidad del problema.

El número de exámenes diferentes por diagnóstico puede verse en la Tabla 3.2.

Diagnóstico	Número de exámenes distintos indicados
Bronquitis aguda, no especificada	67
Fiebre, no especificada	94
Dolor abdominal y pélvico	73
Rinofaringitis aguda	60
Neumonía, organismo no identificado	51
Infección de vía urinaria, sitio no especificado	54
Otras enfermedades pulmonares obstructivas crónicas	54
Constipación	42
Dolor en articulación	57
Cuerpo extraño en el esófago	25

Tabla 3.2: Número de exámenes distintos por diagnóstico.

Como método de selección de características, se realiza un *ranking* entre los exámenes por diagnóstico, en donde la posición es mayor mientras mayor sea el promedio de sus datos.

Dado que los valores son solo unos o ceros, esta métrica también corresponde a *rankear* los exámenes más repetidos por diagnóstico.

Una vez ordenados los exámenes según el criterio elegido, se procede a elegir un subconjunto con el 10% mejor evaluado.

Esta decisión es tomada teniendo en cuenta que algunos diagnósticos poseen más cantidad de exámenes distintos por indicación, por lo que se necesitaría un subconjunto proporcional para generalizar la indicación.

3.4. Análisis de resultados

Para validar la relación entre exámenes y diagnósticos, se ocupa una métrica basada en la intersección entre un set de exámenes indicados en una atención contra el set representativo para ese diagnóstico.

La medida se define como:

$$\frac{\#(exámenes_indicados \cap exámenes_modelo)}{\#exámenes_modelo}$$

En donde *exámenes_indicados* corresponde al arreglo de exámenes indicados para un paciente con un diagnóstico en particular y *exámenes_modelo* corresponde al arreglo de exámenes elegidos en la selección de características para un diagnóstico en particular

Dado que se necesita la métrica para muchos ejemplos, se define el promedio del resultado obtenido por cada diagnóstico, obteniendo los resultados de la Tabla 3.3.

Diagnóstico	Porcentaje de intersección promedio
Bronquitis aguda, no especificada	16.8 %
Fiebre, no especificada	25.3 %
Dolor abdominal y pélvico	22.1 %
Rinofaringitis aguda	18.1 %
Neumonía, organismo no identificado	25.5 %
Infección de vía urinaria, sitio no especificado	26.5 %
Otras enfermedades pulmonares obstructivas crónicas	23.7 %
Constipación	23.2 %
Dolor en articulación	22.9 %
Cuerpo extraño en el esófago	13.2 %

Tabla 3.3: Porcentaje de intersección entre el conjunto representativo y el conjunto de validación

Analizando los resultados obtenidos, se puede apreciar que en la mayoría de los casos, en promedio se ocupa un 25 % de los exámenes recomendados aproximadamente.

Hay 3 casos en donde el porcentaje de aciertos promedio es menor al 20 %, lo que es cercano a en promedio ocupar un examen de la lista de los que se recomienda.

A pesar de que los resultados obtenidos son alentadores, pues por lo menos se está recomendando un examen que si se indica, al consultar con el cuerpo médico cercano a la Red Sonreír, estos indican que la mayoría de los exámenes que están siendo recomendados, no tienen una relación formal con el diagnóstico al cual se recomienda.

Obteniendo más información al respecto de las indicaciones de exámenes, se constata que existen diferentes formas de indicar estos, es decir, para un mismo paciente dos médicos

pueden indicar diferentes conjuntos de exámenes.

Esta decisión depende (entre otros factores), del conocimiento del especialista, que parte desde su educación universitaria hasta su experiencia laboral.

En el caso de que dos pacientes cuenten con el mismo diagnóstico, no necesariamente van a tener el mismo conjunto de exámenes indicados, pues no solo dependen del diagnóstico.

Existen otros factores que son considerados por parte de los médicos al momentos de prescribir e indicar procedimientos, como por ejemplo el conjunto de síntomas, lugar geográfico de residencia, edad del paciente, tiempo en que se han mantenido los síntomas, etcétera. Factores que no fueron considerados en este análisis.

Dado lo anterior, se constata que aunque los exámenes recomendados tienen un ajuste aceptable contra los exámenes indicados, no necesariamente representan a exámenes que *deberían* indicarse, por lo que no se considera un modelo que pudiera generalizarse e implementarse.

Como la cantidad de diagnósticos y exámenes son muchos comparados con la cantidad de ejemplos que se tienen por cada uno (la mayor cantidad es de 2200 ejemplos para el diagnóstico de bronquitis), un método basado en *Machine Learning* no es un alternativa a considerar hasta ahora, pues estos necesitan una gran cantidad de ejemplos para entrenarse.

Finalmente se sugiere diseñar un sistema basado en conocimiento experto, pues este constaría con los factores que los expertos concuerden que son importantes al momento de realizar una indicación.

La dificultad de este sistema es lograr que los expertos se pongan de acuerdo con las reglas a ocupar, pues como ya se mencionó, hay una forma miscelánea de tomar esta decisión.

Conclusión

El trabajo expuesto se ha basado en ocupar una base de datos existente, la cual consta de relaciones entre medicamentos y diagnósticos.

Esta base de datos dio la posibilidad de poder implementar un sistema capaz de informar al cuerpo médico un grado de alerta presente en su prescripción.

Adicionalmente, dio paso a la implementación de un sistema de fármaco-vigilancia, de tal manera que el equipo químico farmacéutico del hospital Dr. Exequiel González Cortés pudiese monitorear el riesgo farmacológico presente en las prescripciones de los niños hospitalizados en las diferentes áreas del recinto de salud, además de poder informar errores o nuevas reglas para los cálculos de riesgo.

En otra parte, el trabajo se basó en el análisis de indicaciones de exámenes, en búsqueda de conjuntos de exámenes que pudiesen representar un diagnóstico en particular.

Frente a los objetivos que se pensaba cumplir, es posible declarar que se cumplieron todos.

Se implementó un sistema experto capaz de entregar alertas según el conocimiento extraído desde el grafo de relaciones. Cumpliendo con que las alertas fueran las mismas que entrega el grafo con las *consultas* anteriores a este trabajo, disminuyendo el tiempo de espera a un tiempo constante, es decir, no depende de la cantidad de argumentos.

También se valida la aplicación con un pequeño formulario, en donde se constata el aporte de la aplicación a la solución del problema, incorporándose a las demás aplicaciones del hospital.

En el caso de análisis de exámenes, éste se realizó obteniendo las indicaciones para un diagnóstico y paciente en particular, obteniendo set de exámenes representativos por diagnóstico, usando los más repetidos.

Al comparar el set obtenido para recomendar contra el set de exámenes indicados, se obtiene que en promedio por lo menos un examen de los recomendados es indicado en la realidad.

Aún así, los sets de recomendaciones no tienen vinculación formal con los diagnósticos según el equipo médico, por lo que el modelo no puede generalizarse, ni menos implementarse una aplicación con este.

Se cree que lo anterior es debido a la miscelánea forma en que se indican exámenes por parte del cuerpo médico, no siguiendo un patrón establecido.

Otro factor que influyó en los resultados obtenidos fue que sólo se consideró diagnósticos y exámenes, dejando fuera variables que se ocupan en la práctica, como por ejemplo los síntomas, o datos del paciente como edad, masa y altura.

Por otra parte, dentro de los puntos importantes a mencionar, cabe destacar la configuración del grafo actual.

Este posee nodos vacíos y otros con nombres duplicados. Si bien la aplicación funciona a pesar de estos detalles, es una mala práctica mantener el grafo como está, pues el escalamiento a nueva información se ve truncado por este diseño.

También se propone como trabajo futuro decidir qué hacer con los datos que se van acumulando producto de las recalificaciones de los riesgos. Con estos datos se podría tener un modelo paralelo (o ampliar el existente), para poder entregar mejores alertas y riesgos globales teniendo en cuenta una mayor cantidad de fármacos y diagnósticos.

Otro punto importante a mencionar recae en la utilización de los métodos ocupados.

En el sistema de calificación de riesgo, se ocupa un método de cálculo de riesgo basado en conocimiento experto, mientras que en el trabajo sobre los exámenes se trata de extraer este conocimiento.

Frente a lo anterior, para este trabajo se concluye que extraer información sobre una decisión médica no es trivial, pues depende de múltiples variables, incluso de la experiencia del experto.

Este tipo de metodología debiese realizarse en conjunto a un experto, el cual pueda ir guiando sobre qué parámetros tomar en cuenta y cuales no, cosa que no se tuvo para este trabajo.

En cambio, al trabajar con conocimiento experto las reglas están definidas desde un inicio y la implementación del sistema debe seguirlas, para así generar resultados útiles para los usuarios. Pero este método no es perfecto del todo.

Una de los mayores inconvenientes de ocupar conocimiento experto es su obtención. Es necesario que un grupo especialista del tema se reúnan y se pongan de acuerdo sobre la definición de las reglas, pues cada uno de ellos tiene una forma diferente de afrontar los procesos en que trabajaban.

Finalmente en cuanto al trabajo en sí mismo, se constata que es importante contar con un equipo multidisciplinario, en donde se cuente con un mediador entre el desarrollo del software y los usuarios, el cual conozca el contexto. También es valioso contar con un equipo de soporte que pueda responder dudas que seguramente son resueltas rápido en comparación a buscar la solución por sí mismo.

Ambos casos fueron gratamente favorables para el desarrollo de este trabajo.

Bibliografía

- [1] Hans-Ulrich Bauer and Wolfgang I. Schöllhorn. Self-organizing maps for the analysis of complex movement patterns. *Neural Processing Letters*, 5(3):193–199, 1997.
- [2] M. Bosch. *Proyecto de seguridad farmacoterapéutica. Prevención de errores de medicación en pacientes hospitalizados pediátricos*. Universidad Autónoma de Barcelona., 2016.
- [3] Daniel J. Cobaugh and Sandra M. Schneider. Medication use in the emergency department: Why are we placing patients at risk? *American Journal of Health-System Pharmacy*, 62(17):1832–1833, 2005.
- [4] Covello and Merkhofer. *Risk assessment methods. Approaches for assessing health and environmental risk*. Springer, 1993.
- [5] Mengnan Du, Ninghao Liu, and Xia Hu. Techniques for interpretable machine learning. *CoRR*, abs/1808.00033, 2018.
- [6] Gareth James, Daniela Witten, Trevor Hastie, and Robert Tibshirani. *An Introduction to Statistical Learning: With Applications in R*. Springer, 2014.
- [7] B. Kaplan. Evaluating informatics applications - clinical decision support systems literature review. *I. J. Medical Informatics*, 64(1):15–37, 2001.
- [8] Jakob Nielsen. *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 1993.
- [9] World Health Organization. *Guidance on developing quality and safety strategies with a healthy system approach*. WHO Regional Office for Europe, 2010.
- [10] Jorge Quinteros, Nelson Baloian, Jose Pino, Alvaro Riquelme, Sergio Penafiel, Horacio Sanson, and Douglas Teoh. *Diagnostic test suggestion via Bayesian network of non-expert assisted knowledge base*. *International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT*. 2018.
- [11] J. J. Pérez Ruixo, M. Climente Martí, and N. V. Jiménez Torres. Valoración de la complejidad farmacoterapéutica de las prescripciones. *Farmacia Hospitalaria*, 25(5):274–283, 2001.

- [12] Johanna Ruiz. *Diseño e implementación de un sistema de apoyo a la decisión clínica en la prescripción basado en un modelo de clasificación del riesgo farmacológico*. Santiago, Chile: Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 2018.
- [13] Carlos Luis Sánchez-Bocanegra, José Luis Sevillano-Ramos, Carlos Rizo, Antón Civit-Breu, and Luis Fernández-Luque. Healthrecsys: A semantic content-based recommender system to complement health videos. *BMC Med. Inf. & Decision Making*, 17(1):63:1–63:10, 2017.
- [14] Jana Tucková, Marek Bárta, Petr Zetocha, and Pavel Grill. Self-organizing maps as data classifiers in medical applications. In *NCTA 2011 - Proceedings of the International Conference on Neural Computation Theory and Applications [part of the International Joint Conference on Computational Intelligence IJCCI 2011], Paris, France, 24-26 October, 2011*, pages 422–429, 2011.
- [15] Jianwu Xu, Xiumei Zhang, Yuhua Cheng, Gongliang Yang, and Junli Liu. The construction of a clinical decision support system based on knowledge base. In *Service Science and Knowledge Innovation - 15th IFIP WG 8.1 International Conference on Informatics and Semiotics in Organisations, ICISO 2014, Shanghai, China, May 23-24, 2014. Proceedings*, pages 388–397, 2014.