Trabajo Fin de Grado

Diseño de una nueva vía clínica para la rotura del ligamento cruzado anterior

Design of a new clinical pathway for the anterior cruciate ligament rupture

Autor:

Marcos Vázquez García

Directores:

Lidia Castán Bellido

Juan Falcón Goicoechea

Ponente:

Cristian Mahulea

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2023-2024

Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a mis directores Juan Falcón y Lidia Castán por su implicación en el proyecto. A Juan por el interés mostrado desde el principio; y a Lidia por su paciencia y adaptabilidad ante las diferentes situaciones que se han ido dando a lo largo de todo el proceso.

Del mismo modo, me gustaría agradecer a mi profesor y ponente en este trabajo, Cristian Mahulea, por confiar en mi para llevarlo a cabo y guiarme para hacer las cosas de la mejor manera posible.

A Sandra y a Guille, porque con vosotros empezó todo, a mis amigos, los de siempre, porque Miami es el atrezo y vosotros el lugar. A mi grupo de la uni, a mi nuevo “irmão” portugués Yassin, gracias a todos por acompañarme hasta aquí.

Me gustaría hacer una mención especial a mi compañera de carrera, de trabajos, de viajes y de experiencias, Marta, contigo todo se vuelve más fácil y la vida mucho más plena.

Finalmente, quiero destacar a mi familia que son los que más han sufrido conmigo durante todo el camino, a mis padres, gracias por apoyarme en los momentos más complicados, y a Nico, porque ser un buen referente fue siempre mi mayor motivación.

Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado presenta el diseño de una nueva vía clínica para el tratamiento de la rotura del ligamento cruzado anterior, una lesión cada vez más frecuente en el ámbito deportivo. Partiendo de la necesidad de actualizar la vía clínica existente en el Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa, se ha desarrollado un modelo basado en la minería de procesos utilizando redes de Petri como formalismo.

El estudio se centra en el análisis de datos clínicos de pacientes reales, recopilados de forma manual, tratados para asegurar la calidad en los mismos y procesados por el algoritmo de descubrimiento de patrones. Este enfoque ha permitido modelar de manera precisa el flujo de actividades en el proceso del tratamiento, optimizando la gestión de recursos y mejorando la experiencia del paciente.

El modelo formal resultante ha sido validado iterativamente con el equipo médico, ajustándose a las necesidades clínicas y corrigiendo errores identificados en las primeras versiones. Los resultados muestran un modelo clínico robusto que, aplicando ciertas modificaciones, podría ser adaptado a otros centros hospitalarios, abriendo la puerta a futuras investigaciones en la optimización de vías clínicas para diferentes patologías.

Índice

Resumen 2

1. Introducción 4

1.1 Marco del proyecto 4
1.2 Propósito y objetivos del trabajo 4
1.3 Metodología utilizada 5

2. Estado del arte 6

2.1 Minería de procesos 6
2.2 Modelado de procesos 9
2.2.1 Redes de Petri 9
2.2.2 PTPN 12
2.2.3 Algoritmo de descubrimiento de patrones 14
2.3 Minería de procesos en la atención sanitaria 15
2.4 Rotura del ligamento cruzado anterior 17
2.4.1 Anatomía y función del ligamento cruzado anterior 17
2.4.2 Causas o factores de riesgo 18
2.4.3 Repercusiones clínicas de la rotura del lca 20
2.4.4 Tipos de injerto 20

3. Metodología y desarrollo 21

3.1 Recogida de datos 21
3.2 Procesado de datos 22
3.3 Obtención de los resultados 22
3.4 Proceso iterativo de validación de los resultados 23
3.5 Problemas encontrados 35

4. Resultados 37

4.1 Vía clínica obtenida 37
4.2 Análisis 38

5. Conclusiones 40

6. Bibliografía 42

7. Anexos 45

7.1 Anexo 1: Configuraciones más comunes 45
7.2 Anexo 2: Registro de datos 46
7.3 Anexo 3: Código del programa de filtrado de datos 47
7.4 Anexo 4: Esquema de la vía clínica a desarrollar 49
7.5 Anexo 5: Resultados 50

1. Introducción

1.1 Marco del proyecto

En las últimas décadas, el avance tecnológico ha transformado profundamente múltiples sectores de la sociedad, y el ámbito sanitario no ha sido la excepción. La integración de innovaciones tecnológicas en la medicina y la gestión de la salud ha abierto nuevas posibilidades para mejorar la atención al paciente, optimizar procesos clínicos, y personalizar los tratamientos de manera más efectiva. Aplicar estos avances tecnológicos en el ámbito sanitario no solo es crucial para enfrentar los desafíos actuales, como el envejecimiento poblacional y las crecientes demandas en los sistemas de salud, sino que también es indispensable para asegurar un futuro donde la medicina sea más precisa, accesible y equitativa.

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) está vinculado a una tarea del proyecto TED2021-130449B-I00, titulado "Evaluación y optimización de vías clínicas mediante métodos formales ". Ha sido llevado a cabo en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA) y en el Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa (HCU). El objetivo central de este proyecto es desarrollar una metodología basada en datos clínicos para la revisión y diseño de vías clínicas.

Una vía clínica es un recurso de gestión en el ámbito de la salud. Se emplea para mejorar la atención a los pacientes con una condición médica específica o sometidos a un procedimiento particular. Estos recursos tienen como objetivo establecer las funciones de cada profesional y el momento en que estas deben realizarse. Así, disminuye la variabilidad en la práctica clínica y mejora la asistencia. Además, se ha demostrado que su uso produce una mejoría en la experiencia del paciente y que también se consigue una reducción de costes [1].

Estas vías clínicas o también denominadas mapas de cuidados son exclusivos de cada centro de salud, más si cabe, en hospitales que no están situados en la misma zona geográfica. Esto es debido a diversos factores; uno de ellos es que cada hospital tiene diferentes recursos, tanto materiales (equipos médicos y tecnológicos), como personales (el personal médico disponible). Otro factor para tener en cuenta es el perfil demográfico de los pacientes, dependiendo del barrio, comarca o región en el que este situado el centro. Un hospital que atiende a personas de edades más avanzadas no puede utilizar los mismos métodos que otro en el cual el perfil de edades es más variado, ya que supondría un riesgo para la salud de las personas más vulnerables.

1.2 Propósito y objetivos del trabajo

El objetivo principal de este trabajo consiste en el diseño de una nueva vía clínica para la rotura del ligamento cruzado anterior. Últimamente, cada vez es más común escuchar en los medios de comunicación, noticias de personas dedicadas

al deporte que sufren esta patología. Desde futbolistas de los mejores clubes del mundo, hasta cualquier disciplina deportiva. El último caso más sonado fue el de la española Carolina Marín, jugadora de bádminton, que se lesionó en plena semifinal de los Juegos Olímpicos de Paris 2024 [2].

En el apartado correspondiente al Estado del Arte de este mismo proyecto, se hace una breve explicación de en qué consiste esta lesión y sus posibles causas.

A colación con el apartado anterior, las vías clínicas utilizadas en un hospital son exclusivas para su uso en ese mismo centro. En el caso de este trabajo, la vía clínica existente para esta patología está desactualizada. Las vías clínicas son procesos vivos que deben ser moldeados con el tiempo con objeto de adaptarse a cada paciente. Debido a que la medicina avanza año a año, es importante que estas vías sean de utilidad y vayan en concordancia a los avances que se vayan realizando. Por este motivo y por el aumento de casos anteriormente mencionado, este proyecto es de suma importancia para poder mejorar la gestión sanitaria y la experiencia intrahospitalaria del paciente. Para lograr dicho objetivo, es fundamental la colaboración con el personal sanitario, quienes se encargan de recopilar los datos de los pacientes. Tras el posterior tratamiento de los datos recopilados, otro objetivo de este proyecto consiste en la familiarización e interacción con el entorno de programación Python. Esta herramienta permite aplicar el algoritmo de estudio para la obtención de la vía clínica deseada. Finalmente, la última finalidad consiste en validar los modelos obtenidos con el equipo médico, siguiendo un proceso iterativo continuo de mejora y refinamiento del modelo.

1.3 Metodología utilizada

Para alcanzar el objetivo principal del proyecto, mencionado en el apartado anterior, los pasos seguidos se basan en la minería de procesos. La minería de procesos es una disciplina que se encarga de extraer información de los datos de importante valor, a partir de registros de eventos localizados en sistemas de información. Puede ser empleada en diferentes campos de aplicación como por ejemplo el sector industrial, el sector empresarial o el ámbito sanitario. Esta disciplina será descrita con mayor detalle en el apartado 2.1 de este documento.

El primero de estos pasos es la recogida de datos de los pacientes llevada a cabo por los Médicos Internos Residentes (MIR) del Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología del HCU. Es importante destacar que los datos se proporcionaron de forma anonimizada y codificada. De forma que no se puede vincular ninguna información sensible con la identidad del paciente. Para no infringir la ley de protección de datos y de intimidad del paciente.

Los pasos que siguen son; un filtrado de los datos suministrados por el equipo médico y la creación de un modelo formal en forma de red de Petri. Se puede

encontrar más información acerca de este tipo de modelos en la sección Modelado de procesos de este trabajo. Esto se realizó de forma iterativa y en colaboración con el equipo del HCU, el modelo obtenido era comprobado clínicamente en reuniones entre las diferentes partes implicadas y se corregían los errores que pudiera tener. Hasta conseguir el resultado final que puede ser consultado en el apartado Resultados de este trabajo.

2 Estado del Arte

En este capítulo se exponen los fundamentos teóricos sobre la minería de procesos, el modelado de procesos (incluyendo el algoritmo de Descubrimiento de Patrones utilizado en el proyecto) y la minería de procesos en el ámbito sanitario. Además, incluye también una explicación detallada del ligamento cruzado anterior y las causas y repercusiones de su rotura.

2.1 La minería de procesos

La minería de procesos es una disciplina que tiene como objetivo descubrir, monitorizar y mejorar procesos reales mediante la extracción de conocimiento de registros de eventos fácilmente disponibles en los sistemas de información actuales.

El punto de partida para cualquier tarea de minería de procesos es un registro de eventos. Cada evento en un registro de este tipo se refiere a una actividad (es decir, un paso bien definido en algún proceso). Estas actividades están relacionadas entre sí dado que pertenecen a un mismo caso particular. Los eventos que pertenecen a un caso se ordenan y se pueden ver como una ejecución del proceso. La secuencia de actividades ejecutadas para un caso se denomina seguimiento o traza. Por lo tanto, un registro de eventos se puede ver como un conjunto múltiple de trazas [3].

El campo de la minería de procesos es muy amplio e incorpora diversas técnicas, como el descubrimiento de procesos, la comprobación de conformidad, la corrección de modelos, la identificación de roles, el análisis de cuellos de botella, la predicción del tiempo de flujo restante y la recomendación de próximos pasos a seguir.

Desde su origen hasta la actualidad la minería de procesos ha evolucionado de tal forma que se han desarrollado algoritmos y elaborado nuevas herramientas que han permitido encontrar aplicaciones en diferentes sectores como la industria, la administración pública, los servicios y como es el caso de este proyecto, la salud.

Ejemplificando lo anterior, Philips posee una importante cantidad de maquinaria distribuida en hospitales de diferentes países alrededor del mundo. Estos equipos van desde sistemas cardiovasculares a máquinas de rayos-x que trabajan

continuamente mandando información directamente en tiempo real a las bases de datos de la empresa. Cada maquina es capaz de generar 15000 eventos al día, esta cifra multiplicada por el número de máquinas totales que posee Philips, se puede estar hablando de millones de eventos diarios los cuales deben ser tratados. Como es lógico, a mayor cantidad de eventos registrados, más dificultosa se vuelve la tarea de crear un modelo que se ajuste de forma eficiente a los datos recibidos. Estas aplicaciones de la minería de procesos se enfrentan a desafíos con respecto al rendimiento en tiempo real, la capacidad de almacén y tratamiento de datos y la interpretación de los resultados [3].

A continuación, se va a exponer de forma gráfica el funcionamiento de la minería de procesos.

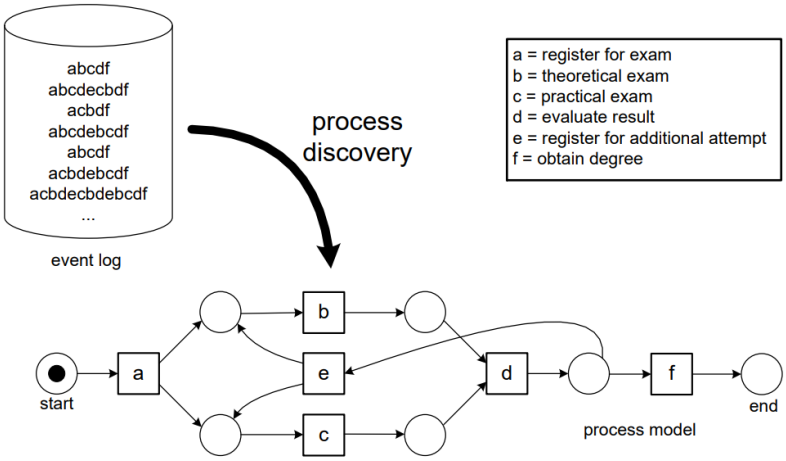


Figura 1: Caso Practico de minería de procesos [3]

La Figura 1 muestra la función de la minería de procesos. Partiendo de un registro de eventos se infiere un modelo de proceso cuyas actividades están relacionadas con un candidato a examen. Analizando dicho modelo podemos observar como las ejecuciones del proceso siempre comienzan con la actividad “a” referida a registrarse al examen y finalizan con “f” referida a obtener el título. Además, “a” siempre es seguido directamente por “b” o “c” o por ambas, ya que por el diseño de este modelo pueden suceder al mismo tiempo. En el caso de “d” únicamente puede ejecutarse si previamente han ocurrido “b” y “c”. Por último, si el estudiante ha aprobado el examen, se ejecutará “f” y finalizará el proceso, si no es así ocurrirá “e” y el estudiante dispondrá de una nueva oportunidad. El modelo de este proceso es una Red de Petri, y corresponde con el diagrama de la parte inferior de la figura.

Para obtener dicha red de Petri pueden ser utilizados diferentes algoritmos, existen diferentes estudios en los que se han probado todos ellos en aplicaciones similares a las de este trabajo y en base a los resultados de uno de ellos se

define el algoritmo que será utilizado en este. Los algoritmos estudiados son los siguientes:

- Algoritmo Inductivo: Este algoritmo, obtiene los patrones más repetidos a partir de los registros de eventos y construye un árbol de proceso que precede a la red de Petri [4]. Los resultados obtenidos con este algoritmo son fácilmente comprensibles para el personal médico, pero, por el contrario, el modelo posee "*Black transitions*". Estas transiciones son perjudiciales para la comprensión del modelo y la certeza de los resultados ya que son transiciones del proceso entre diferentes estados las cuales no conllevan acciones relacionadas [5].
- Algoritmo Heurístico: El algoritmo heurístico, podría considerarse la versión anterior al algoritmo anterior, en este caso, tiene la capacidad de obtener la frecuencia de las diferentes actividades, evitar bucles y desechar las acciones que menos apariciones tienen a lo largo de los procesos médicos estudiados [4]. Al igual que en el caso anterior, en el modelo final también se obtienen "*Black transitions*", pero a diferencia del anterior, el modelo obtenido es mucho más complejo, lo cual hace que su comprensión sea mucho más dificultosa para el personal médico.
- Algoritmo de descubrimiento de patrones: Este busca los patrones de orden mínimo de los eventos, poniendo el foco específicamente en las acciones aplicables a pacientes individuales. Con este algoritmo pueden construirse redes de Petri Probabilísticas, las cuales serán desarrolladas en el apartado 1.2.2 de este proyecto, pero, a modo de síntesis, eliminan las "*Black Transitions*", con lo que se mejora la comprensión del modelo obtenido y se añaden herramientas que pueden a ayudar a realizar un análisis exhaustivo de la vía clínica obtenida [5]. Se detalla la definición y funcionamiento del algoritmo en la sección 2.2.3.

En el mismo contexto que este TFG, un estudio previó [4] realizó una comparativa entre el algoritmo inductivo, heurístico y alpha. Como resultado, se obtuvo que el algoritmo inductivo era el que mejor modelaba el seguimiento de pacientes y vías clínicas. Esto sucede porque el modelo formal obtenido en forma de red de Petri es una red más sencilla y fácil de seguir y entender para el personal sanitario [4].

Este estudio fue extendido posteriormente [5], introduciendo en dicha comparación al algoritmo de descubrimiento de patrones. En este último se concluía que el algoritmo de descubrimiento de patrones permite obtener modelos formales más claros que el algoritmo inductivo, partiendo de un registro de eventos con menor información disponible.

2.2 Modelado de procesos

2.2.1 Redes de Petri

Una red de Petri es un formalismo matemático utilizado en ingeniería para modelar y representar procesos donde varias actividades ocurren al mismo tiempo. En estos procesos, diferentes tareas o actividades pueden interactuar, compartir recursos y competir por el acceso a ellos. Las redes de Petri permiten visualizar y analizar cómo estas tareas se relacionan y cómo se gestionan los recursos en sistemas complejos que operan de manera simultánea [4].

Una red de Petri es una 3-tupla $\langle P, T, F \rangle$ formada por 3 elementos que son:

- *P*: Conjunto de lugares
- *T*: Conjunto de transiciones
- *F*: La relación de flujo, es decir, la relación entre lugares y transiciones.

La unión entre lugares y transiciones se realiza mediante arcos. Un arco une un lugar con una transición, o viceversa, pero nunca dos transiciones o dos lugares. Además, estos arcos representan las relaciones de producción y de consumo de marcas entre lugares y transiciones [4].

Un lugar, representado gráficamente por un círculo (véase Figura 2), puede tener un numero positivo o nulo de marcas. Representa una variable de estado del sistema, es decir, se le asocian acciones o salidas del sistema que se quiere modelar.

Una marca se representa mediante un punto en el interior del círculo correspondiente al lugar. El conjunto de marcas asociadas en un instante dado a cada uno de los lugares constituye un *marcado* de la red de Petri [6].

A las transiciones se les asocian los eventos, más conocidos como las variables de entrada del sistema. Se representan gráficamente como rectángulos, e indican las acciones o eventos que pueden ocurrir en el sistema. Su aparición cambia el estado de la red de Petri [4], siendo responsables de la evolución del marcado.

La evolución del marcado en una Red de Petri funciona de la siguiente forma [6]:

- Un lugar *p* es lugar de entrada de una transición *t* si existe un arco orientado de *p* hacia *t*;
- Un lugar *p* es lugar de salida de una transición *t* si existe un arco orientado de *t* hacia *p*;
- Una transición está sensibilizada si todos los lugares de entrada están marcados.

Además, es importante mencionar que una transición sensibilizada es disparada si el evento que le está asociado se verifica. El disparo de una transición consiste

en quitar una marca a cada uno de los lugares de entrada y en añadir una marca a cada uno de los lugares de salida [6]. Por consiguiente, se define un sistema de red de Petri al par < *N,m* > donde:

- *N* = (*P, T, F*), es una red de Petri;
- *m* : *P* → ℕ U 0 es una función de marcado y m_0 es el marcado inicial de la red

Con el fin de visualizar los conceptos de sensibilización, disparo de una transición, marcado inicial y evolución del marcado, se muestran las Figuras 2 y 3.

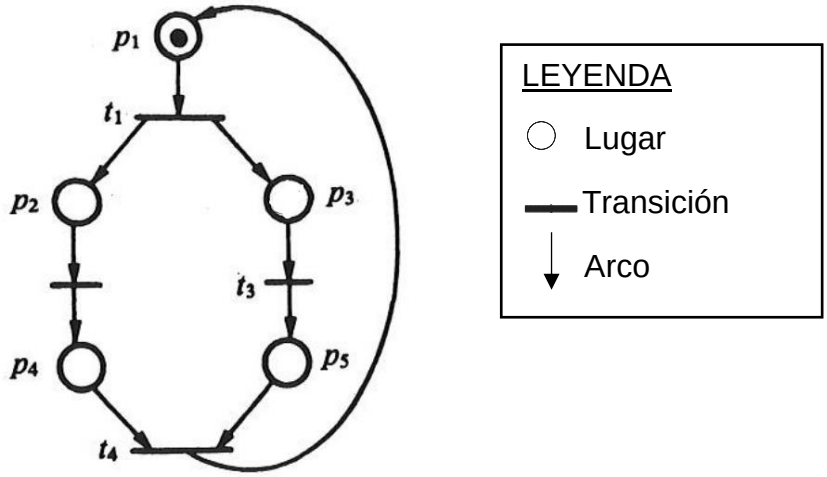


Figura 2: Red de Petri en estado inicial

La red de Petri de la Figura 2 está compuesta por 5 lugares, 4 transiciones y una marca en el lugar p_1, que constituye el marcado inicial de la red. Como podemos observar, los lugares p_4 y p_5 son lugares de entrada de t_4, mientras que p_2 y $p_3$son lugares de salida de t_1. En este caso la transición t_1 está sensibilizada, es decir, se puede disparar.

Por lo tanto, marcado correspondiente al disparo de la t_1 en la red de Petri de la Figura 2 se representa en la Figura 3.

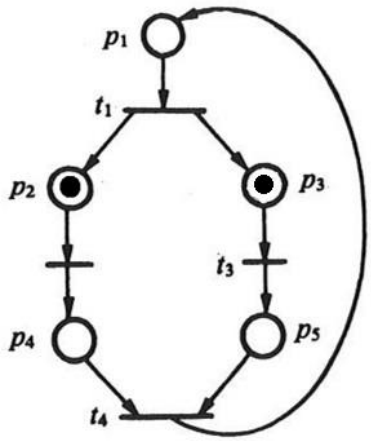


Figura 3: Disparo de la t_1

En el Anexo 1 se pueden consultar las más comunes y distintas estructuras o configuraciones que aparecen en los procesos modelados mediante redes de Petri.

Para emplear una red de Petri en la modelación de una aplicación determinada, se le ha de dotar de una interpretación. Es decir, asociarle una significación física a las condiciones de evolución de la red, así como definir las acciones generadas por dicha evolución. De forma esquemática, se puede decir que la red define la estructura de la descripción del sistema, y que su interpretación le asocia una semántica [6].

De hecho, numerosos estudios previos ya han resaltado la idoneidad de las redes de Petri como herramienta de gestión hospitalaria, aplicando este tipo de modelos formales en un contexto clínico. Entre ellos, cabe destacar el estudio realizado en [7], que utiliza las redes de Petri para modelar áreas de gestión hospitalaria en Zaragoza considerando el flujo de pacientes y los recursos disponibles.

Además, [8] también emplea esta metodología de modelado en su estudio para describir los sistemas de salud, en particular para la gestión y planificación de hospitales. La idea principal del enfoque de su trabajo es modelar diferentes trayectorias clínicas que se definen por la interacción de 3 elementos primitivos: las actividades (tratamientos y cuidados), los recursos (personal médico, equipos médicos, quirófanos, etc.) y los tiempos de operación. A partir de la especificación de las trayectorias, se obtiene un modelo de Red de Petri, cuyo objetivo es optimizar la gestión de recursos y facilitar la toma de decisiones en entornos complejos como los hospitales.

Como se ha mencionado en la parte anterior de este mismo capitulo, las redes de Petri son utilizadas en el presente estudio para representar los modelos obtenidos con la minería de procesos. Sin embargo, cabe destacar que los modelos obtenidos también pueden ser representados mediante otros formalismos como por ejemplo los modelos BPMN, redes C o redes heurísticas.

Pese a que las redes de Petri son un formalismo expresivo y conciso muy adecuado para la representación de procesos, tienen la limitación de solo aleatorizar las tasas de transición, es decir, el tiempo en el que se disparan las transiciones, lo que puede no resultar muy útil. En algunos casos, resulta más relevante conocer qué ocurre después de un evento (qué lugares reciben marcas), que el tiempo aleatorio en el que se disparan las transiciones. Esta limitación ha permitido desarrollar una nueva variante de red de Petri que indica la aleatoriedad de la distribución de las marcas al dispararse una transición. Esta variante se denomina red de Petri Temporizada Probabilística [9].

2.2.2 PTPN

Una red de Petri Temporizada Probabilística (PTPN, por sus siglas en inglés Probabilistic Time Petri Nets) es una extensión de la red de Petri que permite resolver de manera elegante el problema de combinar probabilidades y concurrencia. Además, este modelo se beneficia de la concisión y el poder expresivo de las redes de Petri [9].

Definición 1: Una PTPN es una 5-tupla $N = \langle P, T, Pre, Post, I \rangle$ donde:

- P es un conjunto finito de lugares.
- T es un conjunto finito de transiciones que cumplen que: $T \cap P = \emptyset$.
- $\mathrm{Pre} \rightarrow \mathbb{N}^P$ es la función de incidencia inversa.
- $\mathrm{Post} \rightarrow P(Dist_{\mathbb{N}P)}$ es la función de incidencia hacia delante.
- $I: T \rightarrow I(\mathbb{Q}+)$ es una función que asigna un intervalo de disparo a cada transición.

Un elemento de $\mathbb{N}^P$ se llama un marcado de la red. Un marcado denota una distribución de fichas en los lugares de la red. El mapeo de incidencia hacia adelante Post especifica un conjunto finito de distribuciones de probabilidad de los marcados para cada transición de la red. Para una transición dada *t,* asumimos que las distribuciones de probabilidad en *Post(t)* están asociadas con variables aleatorias independientes. Estas variables aleatorias contribuyen a la producción de marcas en los lugares subsiguientes cuando esa transición se activa. Además, asumimos que el soporte de cada distribución de probabilidad discreta en *Post(t)* es finito [9].

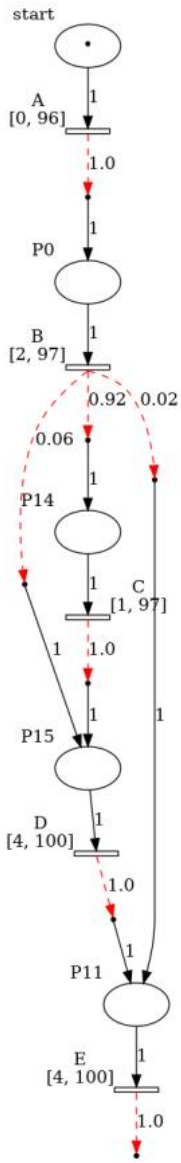
Una distribución en *Post(t)* se representa gráficamente por una pila de hiperarcos. Un hiperarco está etiquetado con una probabilidad antes de dividirse en un conjunto de arcos que conducen a un conjunto de lugares de salida. Estos están representados mediante línea discontinua roja en la Figura 4.

Definición 2: Red de Petri temporizada probabilística Marcada. Una PTPN marcada es una 6-tupla $N = \langle P, T, Pre, Post, I, \rho_N \rangle$ donde:

- $(P, T, Pre, Post, I)$ es una PTPN
- $\rho_N \in Dist_{\mathbb{N}P}$ es la distribución del marcado inicial de la red

Asumiendo que las distribuciones de probabilidad dentro de *Post(t)* son independientes entre sí, la probabilidad de una opción específica se obtiene multiplicando las probabilidades de cada decisión independiente que conduce a esa opción [9].

En este proyecto serán utilizadas las PTPN, pero no será utilizada la función de los intervalos de tiempo, ya que no existía un registro de la duración de las actividades que componen la futura vía clínica. Solo se tenía la fecha y hora de comienzo, en alguna de las actividades.



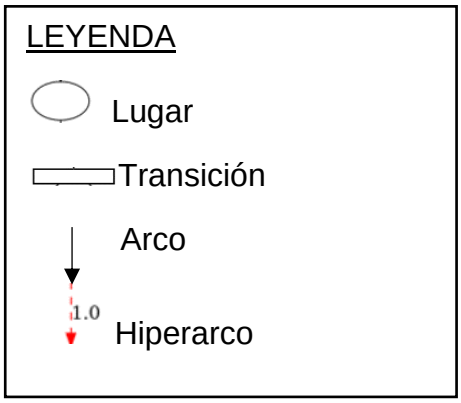


Figura 4: PTPN [5]

La Figura 4 muestra una PTPN, los intervalos situados debajo del nombre de cada transición son las duraciones de cada actividad asociada. Para poder obtener un resultado semejante, es decir, que muestre el intervalo temporal de las actividades, se requiere el conocimiento y el registro de dichas duraciones en los datos de partida. No es el caso de este trabajo. Las probabilidades se muestran al lado de cada arco que sale de cada transición y que la une con el estado siguiente. En este caso, solo hay una transición en la cual se puede observar este suceso, la transición B. Dicha transición posee tres hiperarcos, los cuales, el que la une con el lugar P_{14}, con una probabilidad del 92%. El hiperarco que

conduce al lugar P_{15} tiene una probabilidad del 6% y, finalmente, el hiperarco relacionado con el lugar P_{11} posee una probabilidad del 2%.

2.2.3 Algoritmo de descubrimiento de patrones

Anteriormente se ha mencionado de forma resumida el funcionamiento de este algoritmo. En este apartado se procede a detallar su funcionamiento, y cómo gracias a él se obtienen las PTPN de forma más detallada.

La minería de secuencias es un campo específico de la minería de datos que se ocupa de la búsqueda de patrones relevantes en secuencias y cadenas. La mayoría de los métodos utilizados en la minería de secuencias buscan conjuntos de ítems frecuentes en bases de datos, con el fin de descubrir reglas de asociación entre ítems que se encuentran frecuentemente juntos [10].

En particular, el algoritmo de descubrimiento de patrones se basa en identificar patrones en una secuencia de eventos con el mínimo soporte. A continuación, se definen estos conceptos [10].

Definición 1. Secuencia y eventos

Sea $D = \{ S_i \}_{i=1..n}$ una base de datos que contiene n secuencias. Una secuencia S_i es una lista ordenada de eventos tales que $S_i = [e_1^i, e_2^i, e_3^i, \ldots, e_{l(Si)}^i]$, donde $l(S_i) \geq 2$ es la longitud de la secuencia, y e_k^i es el k-ésimo evento de la secuencia.

Definición 2. Patrón

Un patrón P es una secuencia de eventos tales que $P = [e_1^P, e_2^P, e_3^P, \ldots, e_{l(P)}^P]$, donde $l(P) \geq 2$ es la longitud del patrón. Un evento no es suficiente para definir un patrón. Por lo tanto, se dice que un patrón tiene una longitud elemental $l(P) = 2$ que es la longitud mínima.

Definición 3. Soporte

El soporte $Supp(P)$ de un patrón P es el número de secuencias $S_i \in D$ en las que P está contenido, es decir, refleja la frecuencia del patrón en la base de datos.

$Supp(P)_{min} \in [\, 0, |D|]$ define un soporte mínimo. El soporte mínimo define la presencia mínima para que un patrón sea considerado relevante.

Una vez definidos los conceptos básicos, se enuncian los pasos que sigue el algoritmo en cuestión [5].

Inicialización: Calcular los patrones elementales de longitud dos que aparecen en la base de datos y su soporte, es decir, se identifican todos los posibles pares de elementos consecutivos aparecen en las cadenas de la base de datos.

Por ejemplo, si se partiera de una secuencia [A, B, C], los pares de esta secuencia serían [A, B] y [B, C].

Patrones Candidatos: Inicialmente, se generan patrones candidatos. El algoritmo busca candidatos combinando dos patrones previamente encontrados que tengan un soporte igual al soporte actualmente buscado para uno y un soporte superior o igual para el otro.

Continuando con el ejemplo, partiendo de los dos patrones elementales [A, B] y [B, C] se combinan para formar [A, B, C] como patrón candidato.

Determinación del Soporte: Se calcula el soporte de cada patrón candidato.

Añadir patrones descubiertos: Si el soporte no es nulo, el patrón se añade a la lista de soporte correspondiente.

Eliminación de Subpatrones: Los subpatrones que comparten el mismo soporte se eliminan.

Ejemplificando lo anterior, una vez encontrado el patrón candidato [A, B, C] se eliminan [A, B] y [B, C].

Iteración para Soportes Inferiores: El algoritmo entonces genera candidatos y busca aquellos con un soporte más bajo.

Iteración para Patrones Mayores: Finalmente, el algoritmo itera para identificar patrones más grandes, y no deja de comparar contra soportes mayores que no han cambiado. Esto implica que los patrones más largos encontrados serán utilizados como base para intentar extenderlos aún más.

La principal ventaja de los algoritmos propuestos es su accesibilidad para aquellos que no están familiarizados con modelos formales, como el personal médico. Demuestra ser robusto frente a errores menores en la base de datos e incorpora de manera eficiente el tiempo tanto a nivel de eventos como de patrones, lo que permite realizar análisis estadísticos y crear redes de Petri temporizadas [5].

Para crear esas redes de Petri temporizadas, se emplea un algoritmo de postratamiento, que funciona de la siguiente forma: para cada evento, se crea una lista de posibles actividades consecutivas, buscando dichas actividades en los patrones. La probabilidad del siguiente evento se determina observando el máximo soporte de un patrón con esa misma sucesión. Una vez crea el modelo, añade como último paso un estado de '*start*' para que pueda ser ejecutada la red [5]. La Figura 4 muestra claramente la forma gráfica de la ejecución del algoritmo.

2.3 Minería de procesos en la atención sanitaria

La minería de procesos puede ayudar a las instituciones de la salud a lograr cumplir los cuatro objetivos para una mejora de la atención sanitaria. A continuación, se van a mencionar dichos objetivos con un ejemplo de acciones a tomar para cada uno de ellos.

- Mejorar la salud de las personas: Apoyando el análisis y la mejora de las vías clínicas.

- Mejorar la experiencia de los pacientes: Destacando como un proceso puede ser visto desde la perspectiva del paciente.
- Reducir costes: Descubriendo los 'cuellos de botella' en los procedimientos
- Mejorar la vida laboral de los profesionales de la salud: Permitiendo el análisis de la participación de recursos y los requisitos en un proceso de atención médica.

Para lograr todo lo anterior, la minería de procesos se enfrenta a diferentes desafíos debidos especialmente a las características propias de este campo de trabajo.

Los procesos de atención sanitaria son muy complejos, en parte debido a que tienden a tener una variabilidad significante. Numerosos factores contribuyen a que aparezca dicha variabilidad en los procesos, tales como, la diversidad de actividades que se pueden ejecutar, la influencia de las características propias de un paciente o de las preferencias de un profesional sanitario. La combinación de todos estos factores hace que cada caso sea único. Pese a la complejidad de este campo, gracias a proyectos como al que pertenece este trabajo, es posible implementar la minería de procesos y obtener resultados que ayuden a mejorar el sistema de gestión de la atención sanitaria.

Enlazando con lo anterior, otro de los desafíos a los que esta herramienta se enfrenta es la atención que debe ser prestada a la calidad de los datos registrados. Los datos reales de las HISs tienden a sufrir problemas con respecto a su calidad, lo cual complica la acción de la minería de procesos. En este proyecto, a partir de los datos registrados por el equipo médico se realizó un filtrado de estos con el fin de eliminar los datos mal registrados o posibles incidencias en la recogida. Esto junto al desarrollo de la vía será descrito en detalle en la sección de Metodología y desarrollo de este mismo proyecto.

La privacidad y el anonimato de los pacientes de los que se recopilan los datos es uno de los desafíos más importantes que se abordan con la minería de procesos aplicada a la atención sanitaria. En este campo existe el riesgo de que los datos sean accedidos o divulgados de manera no autorizada. Por ello, en este trabajo, los registros de los pacientes se nombran con el NHC "número de historial clínico", evitando así una accesibilidad directa a datos personales del paciente.

Por último, se ha querido destacar un desafío al que se enfrenta esta herramienta, se trata de ver el proceso a través de los ojos del paciente. Esto puede ayudar a los médicos a considerar el viaje de paciente a través de su proceso de recuperación, para poder así tomar decisiones en un momento determinado. La adopción de esta perspectiva puede ayudar a mejorar la experiencia del paciente, que es uno de los principales objetivos de la minería de procesos este campo, como ya se ha mencionado anteriormente [11].

2.4 Ligamento cruzado anterior

2.4.1 Anatomía y función del ligamento cruzado anterior

El ligamento cruzado anterior (LCA) es uno de los ligamentos más importantes de la rodilla. A nivel anatómico, se trata de una estructura que se origina en la pared medial del cóndilo femoral lateral, y se cruza hacia su inserción en la parte anterior de la superficie articular tibial [12]. Es otras palabras, es una banda de tejido conectivo que se extiende desde el fémur hasta la tibia [13]. Todas las estructuras anatómicas de la rodilla se pueden observar en la Figura 5.

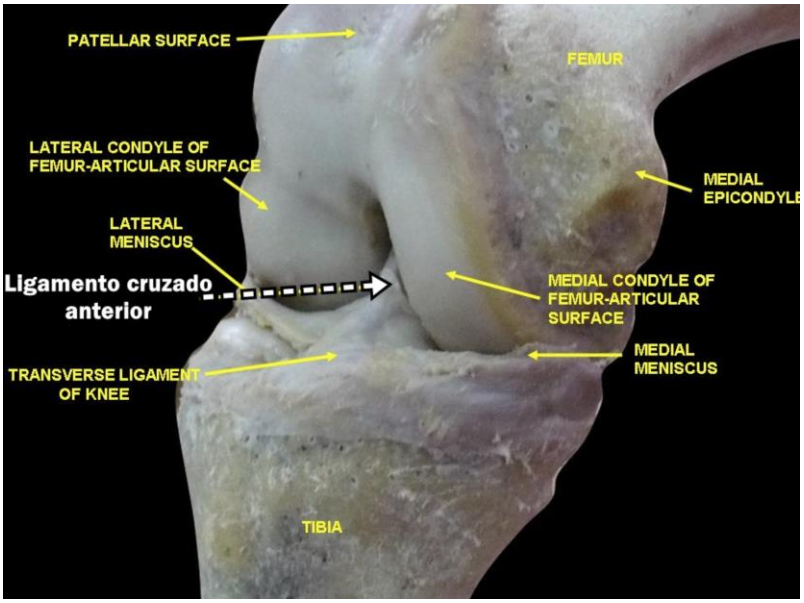


Figura 5: Estructuras anatómicas de la rodilla [14]

Cuando la rodilla se extiende, el LCA tiene una longitud media de 32 mm y un ancho de 7 a 12 mm [13]. Este dato anatómico es especialmente importante, puesto que tiene gran influencia a la hora de evaluar la rotura y planificar una reconstrucción. Por otro lado, el ligamento cruzado anterior (LCA) es una estructura fibrosa que se divide en varios fascículos o bandas. Por norma general, se divide en dos fascículos: el fascículo posterolateral (PL) y el anteromedial (AM). El fascículo posterolateral (PL) se refiere al más posterior y externo en la tibia y al más posterior y distal en el fémur; mientras que el fascículo anteromedial (AM) es el más anterior e interno en la tibia y el más proximal y anterior en el fémur (ver Figura 6) [15]. Estos fascículos desempeñan roles específicos en la estabilidad de la rodilla: durante la flexión, la rodilla tensa el fascículo AM y el ligamento rota 90º sobre sí mismo. Sin embargo, durante la extensión, se tensa la banda PL y el ligamento se aplana y ensancha [15]. Esta división tiene especial relevancia, puesto que una ruptura podría afectar a uno o ambos fascículos, alterando la estabilidad de la rodilla de manera distinta. Estos datos anatómicos son esenciales para analizar las lesiones y planificar las intervenciones quirúrgicas.

Figura 6: Visión de los fascículos anteromedial y posterolateral del LCA [15]

En cuanto a su funcionalidad, el LCA actúa principalmente como un estabilizador estático. Fundamentalmente, ayuda a prevenir el desplazamiento hacia delante de la tibia respecto al fémur, lo cual es crucial para aguantar el peso corporal en movimiento o carga [16]. Además, también resiste los movimientos rotatorios y contribuye a la estabilidad frente a los movimientos en varo y valgo de todos los grados de flexión [12].

2.4.2 Causas o factores de riesgo

La rotura del LCA es común en personas que realizan actividades físicas. A medida que aumenta la participación en deportes, también lo hacen estas lesiones, que suelen ser el resultado de una desaceleración repentina o una hiperextensión. De hecho, en Estados Unidos se habla que cada año entre 80 000 y 250 000 personas sufren una rotura del LCA, de las que la mayoría, aproximadamente un 50%, son deportistas jóvenes de entre 15 a 25 años [17].

En este contexto, Morrison et al [18] calcularon las solicitaciones que actúan sobre los ligamentos cruzados durante diversas actividades (Tabla 1).

ACTIVIDAD	LCA
Marcha en llano	169 N
Subir escaleras	67 N
Bajar escaleras	445 N
Ascendiendo rampa (9º)	27 N
Bajando rampa (9º)	93 N

Tabla 1: Fuerzas soportadas por el LCA y LCP en distintas actividades [19]

Los valores de las tensiones que aparecen en la Tabla 1 aumentan proporcionalmente con la velocidad de la marcha. En todas las actividades mostradas, exceptuando bajar escaleras, las fuerzas que actúan sobre el LCA no superan los 20 kg. No obstante, la rotura de este ligamento es muy frecuente. Esto su-

giere que, aunque el LCA es una estructura biológicamente adaptada y mecánicamente bien diseñada para una actividad normal, puede romperse con mucha facilidad cuando aumentan las solicitaciones sobre él (como ocurre en el deporte), o se somete a posiciones inadecuadas [19]. Esta investigación destaca el deporte como un factor de riesgo significativo para la rotura del LCA.

Por otro lado, en los últimos años, se han desarrollado numerosos estudios que respaldan que este tipo de lesión tiene una componente genética importante, con una heredabilidad de hasta el 69% [20]. Entre los factores genéticos-anatómicos que pueden ser asociados con un mayor riesgo de lesión se encuentran: una excesiva pronación del pie, un mayor índice de masa corporal o un mayor ángulo Q [21].

Además, numerosos estudios analizan también factores de riesgo hormonales o relacionados con el género. En dichos estudios se concluye que las niñas tienen un mayor riesgo de sufrir lesiones no traumáticas del ligamento cruzado anterior (LCA) en comparación con los niños en deportes similares que implican cortes, desaceleración y/o saltos. Esto puede deberse a una posible influencia hormonal, ya que en el LCA se han identificado receptores de estrógeno y progesterona, aunque este tema sigue siendo controversial en la comunidad científica [12].

Finalmente, los factores medioambientales también juegan un rol importante en este tipo de lesión. Entre ellos, se pueden citar el tipo y material de calzado, el tipo de superficie donde se practique el deporte o incluso la meteorología [21].

Todos los factores de riesgo se resumen a continuación en la Tabla 2:

CATEGORÍA	MODIFICABLE	NO MODIFICABLE
Intrínseco	▪IMC (Índice de Masa Corporal) ▪ Déficits neuromuscula-res y biomecánicos ▪ Estado hormonal ▪ Fatiga	▪ Género femenino ▪ Tamaño del surco femoral ▪ Volumen del LCA ▪ Inclinación tibial posterior ▪ Laxitud ligamen-tosa ▪ Alineación de las extremidades ▪ Lesión previa del LCA ▪ Predisposición ge-nética
Extrínseco	▪ Calzado ▪ Superficie de juego ▪ Condición climática ▪ Nivel de competición ▪ Tipo de deporte	

Tabla 2: Factores de riesgo de lesión del LCA [12].

2.4.3 Repercusiones clínicas de las lesiones de rotura del LCA

La mayoría de los pacientes con esta lesión experimentan periodos recurrentes de dolor, pérdida de función, inestabilidad y movilidad reducida. Esta lesión no solo afecta la vida del individuo, sino también a la sociedad debido a la pérdida de productividad y los costos asociados [22]. Estas consideraciones hacen que la investigación acerca de esta lesión y el diseño de una vía clínica cobren aún más relevancia.

2.4.4 Tipos de injerto

Hoy en día, los injertos se pueden clasificar en dos grandes categorías: los autoinjertos y los aloinjertos [23].

Por un lado, entre los autoinjertos se encuentran el tendón rotuliano (HTH), los tendones conocidos como “la pata de ganso”, y el tendón del cuádriceps. El mayor inconveniente del uso de autoinjertos es la morbilidad producida en la zona donante (fractura de la rótula, tendinitis rotuliana, debilitamiento del tendón rotuliano, cicatriz dolorosa y síntomas sensitivos por lesión de la rama infra patelar del nervio safeno) [24].

Por otro lado, los aloinjertos han sido propuestos como una alternativa quirúrgica en los últimos años. De hecho, su uso ha incrementado en los últimos 15 años: más de 1 millón de aloinjertos se ocuparon en USA el año 2004 [23]. Su principal desventaja consiste en la posible transmisión de enfermedades virales, pero otras desventajas a mencionar son un mayor índice de re-rotura y fallo de la plastia y que aporta una menor resistencia.

La elección entre un injerto u otro es personal y puede variar según cada caso clínico, siempre considerando las ventajas y desventajas que ambos presentan. En el presente trabajo, se incluyen pacientes que han optado por ambos tipos de injerto.

Actualmente, los estudios se centran en desarrollar técnicas quirúrgicas que reproduzcan más fidedignamente la anatomía normal del LCA, respetando la doble banda, los puntos de inserción femoral y tibial, la oblicuidad del ligamento primitivo [25]. La preocupación actual es no solo lograr la estabilidad funcional, sino reproducir mejor la anatomía del ligamento, respetando sus propiedades biomecánicas.

3 Metodología y desarrollo

Esta sección del proyecto está dedicada a explicar de manera detallada los pasos que se han seguido para conseguir obtener una vía clínica válida para la lesión estudiada. Partiendo desde la elección de las variables a estudiar y la forma de estas, siguiendo con la recogida y el procesado de los datos hasta, finalmente, la obtención de un modelo validado por el equipo médico del HCU.

3.1 Recogida de datos

Una vez definido el proyecto en cuanto a la patología que se va a estudiar y el número de pacientes necesarios, el siguiente paso es definir las variables de entrada que van a ser estudiadas y recogidas por el equipo médico.

La recogida de datos es un proceso que se realizó de forma manual por parte del MIR y co-director de este TFG, Juan Falcón Goicoechea. Todos los parámetros recogidos se encuentran en la Historia Clínica Electrónica, este es el programa donde se guardan los datos de los pacientes como pruebas de imagen, de laboratorio y donde se encuentran todos los informes del Salud. El Salud es el servicio aragonés de salud, donde se encuentra el historial médico de todos los pacientes registrados. Debido a que en el hospital no se dispone de ningún tipo de programa informático de recogida de datos automática, ni ninguna base de datos con registros de los pacientes, el proceso de recogida se tuvo que realizar de la siguiente forma:

1. Consultar los registros de intervenciones quirúrgicas realizadas.
2. Revisar el NHC del paciente.

3. Buscar al paciente en la Historia Clínica Electrónica del hospital.
4. Examinar las variables definidas previamente.
5. Transcribir los datos del paciente a una hoja Excel.

Todo ello se elaboró de forma manual paciente por paciente, por lo que, al ser un proceso tan laborioso, conllevó una importante demora para la ejecución del proyecto. Al mismo tiempo, se hizo un estudio acerca de la minería de procesos, las PTPN y el algoritmo a utilizar.

El archivo Excel resultante del proceso de recogida de datos puede ser revisado en el Anexo 2 de este mismo documento. También se pueden encontrar algunas observaciones con respecto a la forma de los datos y como deben ser tratados.

3.2 Procesado de datos

En este paso se lleva a cabo un filtrado de los datos utilizando la librería *Pandas* de Python. Para ello se creó un programa bajo el nombre *limpiardatos.py* con el fin de obtener un fichero que pueda ser procesado posteriormente a partir del Excel suministrado por los médicos. Los cambios que se buscan realizar son los siguientes:

- Eliminar datos cuyos valores no fueran válidos.
- Cambiar el formato de las fechas a tipo *Datetime*.
- Eliminar espacios en blanco entre filas.
- Clasificar de manera correcta a los pacientes con aloinjerto y autoinjerto.
- Convertir el formato Excel a formato CSV para poder ejecutar el programa que contiene el algoritmo.

Después de ser ejecutado el programa, se comprueba que no se haya perdido información durante el filtrado, es decir, que no se hayan borrado actividades demás, comparando ambos archivos. Una vez corroborado que todos los datos se han filtrado correctamente, ya se está preparado para obtener el modelo en el siguiente paso.

En el Anexo 3 se mostrará el resultado de este proceso y el código utilizado, puntualizando algunos detalles de este.

3.3 Obtención de los resultados

Tras realizar el filtrado de forma correcta, obteniendo como resultado el fichero *lca.csv,* comienza la implementación del repositorio anteriormente citado. Este repositorio contiene una serie de programas en lenguaje Python que aplican el algoritmo de Descubrimiento de Patrones a ficheros con datos médicos.

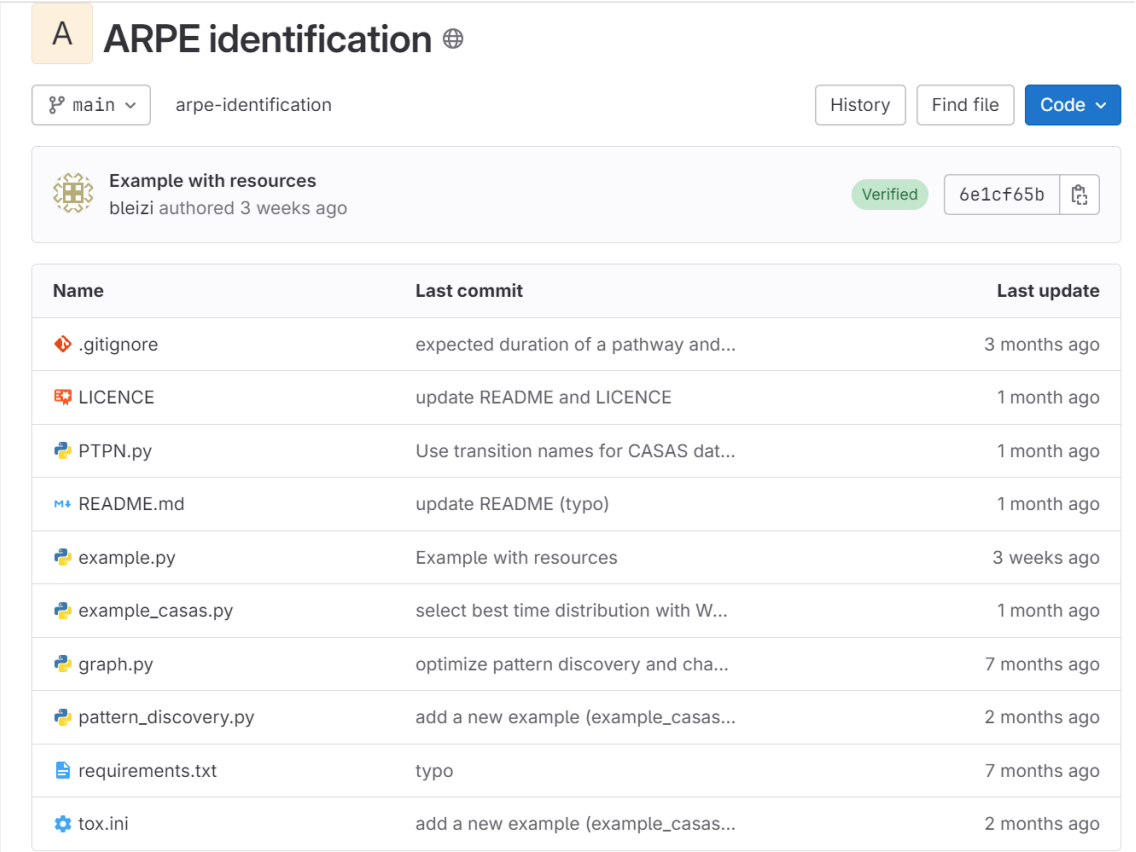


Figura 7: Repositorio utilizado

En la Figura 7 se muestran los diferentes archivos que contiene. Para el caso de este proyecto, se ejecuta el programa example.py, ya que este está diseñado para ejecutarse con datos de origen clínico. Modificando el código de este para ejecutar el fichero filtrado anteriormente, se obtiene el modelo en forma de red de Petri.

La implementación utilizada en este proyecto se encuentra disponible en https://gitlab.crans.org/bleizi/arpe-identification [5].

3.4 Proceso iterativo de validación de los resultados

El modelo obtenido ha de validarse con el personal médico. Para cumplir con el objetivo de este TFG se debe comprobar la viabilidad a nivel clínico de la red de Petri resultante. Para lograr la comprensión por parte del equipo médico del modelo obtenido, tuvo que haber una explicación del funcionamiento de este tipo de redes. Así pues, comienza un proceso iterativo que consiste en detectar los errores del modelo y realizar las modificaciones pertinentes. Para ello se dan reuniones en las que, tras la detección de errores, se da una explicación clínica de estos para facilitar la posterior corrección. A continuación, se enumeran los errores obtenidos en las iteraciones del proceso.

En el primer modelo formal resultante, se encontraron los siguientes errores:

- Error 1: Inicio-Final de red erróneo.

- Error 2: Actividades desordenadas (“Retirada_redon_primer_día” y “deambulación”).
- Error 3: Confusión en el nombramiento de una actividad (Tratamiento_AB)
- Error 4: Actividad desordenada (“HBPM_post_iq”).

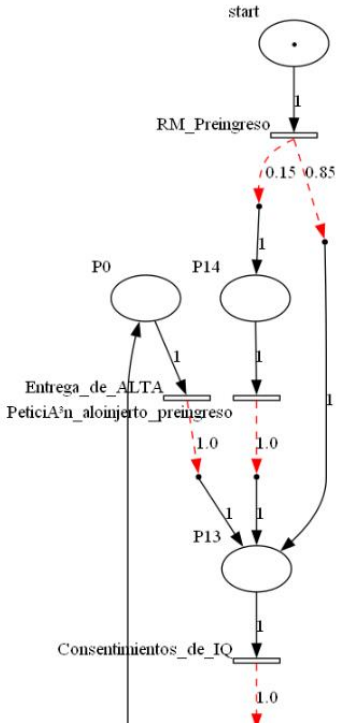


Figura 8: Error 1 del modelo 1

La Figura 8 muestra de manera gráfica el primer error encontrado en el modelo. La transición 'Entrega_de_alta' debería ser la última en la red, antes del lugar final 'end'. Sin embargo, este lugar final no existe en la red actual, y 'Entrega_de_alta' está conectada incorrectamente a un lugar asociado a la actividad 'Consentimientos_de_IQ'. La red debería tener una estructura lineal, ya que cada marca representa a un paciente, lo que implica un flujo secuencial de actividades hasta la finalización del proceso.

Para solucionar este error se comprobó el estado del contenido del fichero resultante del procesado de datos. En algunos de los pacientes se habían eliminado las dos primeras actividades, por lo que se corrigió el programa de tratamiento de los datos, y se comprobó paciente a paciente si la secuencia de actividades estaba completa.

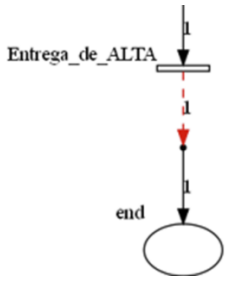


Figura 9: Error 1 del primer modelo solucionado.

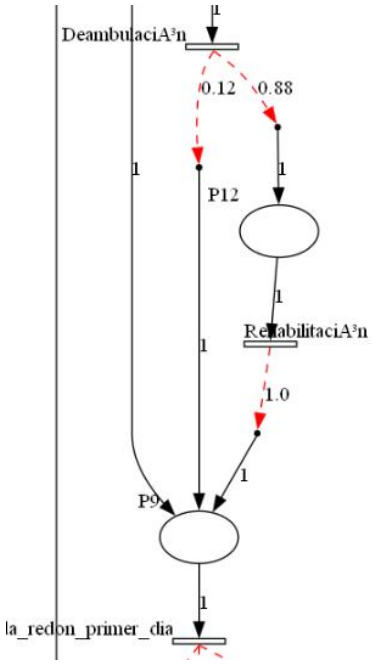


Figura 10: Error 2 del primer modelo

El siguiente error para solucionar consistía en un fallo en el orden de las actividades. “Retirada_redon_primer_día” iba incorrectamente colocada después de “Deambulación” y “Rehabilitación”. A modo de explicación, el equipo médico detalló en que consistía cada una de estas tres actividades, clarificando su cronología. “Retirada_redon_primer_día” hace referencia a la retirada del drenaje de la herida quirúrgica. La “deambulación” consiste en ayudar a caminar al paciente para activar el flujo sanguíneo en la zona afectada. Esta segunda actividad siempre debe realizarse una vez se ha retirado el drenaje del paciente. Por último, la “Rehabilitación” consiste en una consulta al paciente acerca de si desea realizar la rehabilitación de la lesión en el mismo centro, y siempre se realiza tras la “Deambulación”. Para solventar este error se cambió el orden del de las actividades en el fichero tratado en cada uno de los pacientes.

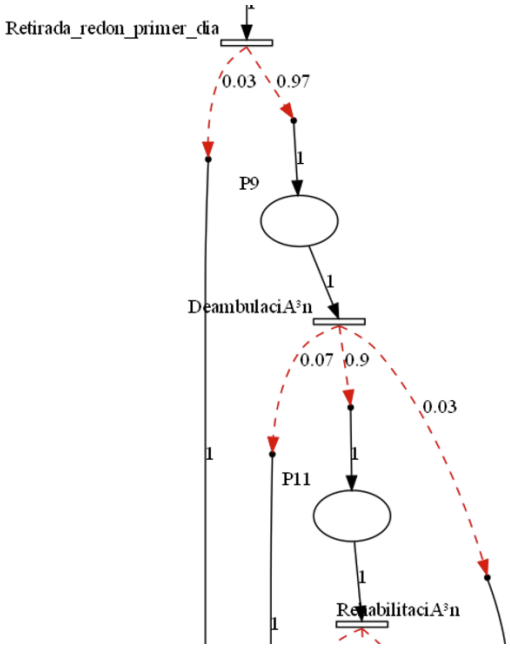


Figura 11: Corrección del error 2 del primer modelo

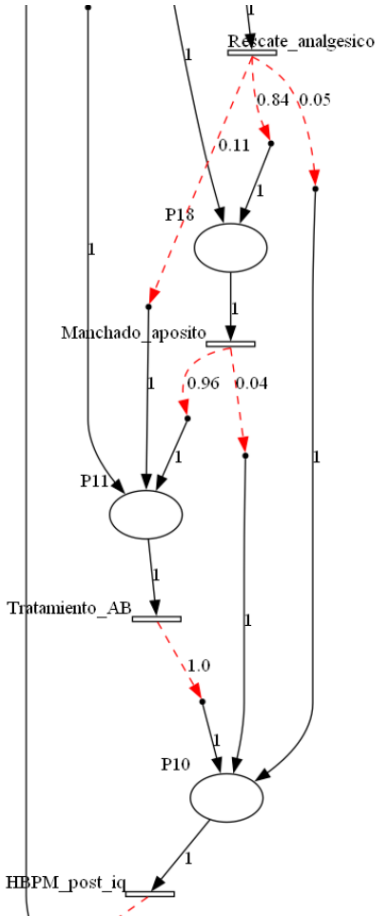


Figura 12: Error 3 y error 4

En la Figura 12 se pueden distinguir de forma clara los errores a los que hace referencia. De acuerdo con el personal sanitario, la transición “Tratamiento_AB”

debe ser renombrada como “Prolongación_AB_Intrahospitalaria”, ya que puede llevar a confusión. Esta actividad está relacionada con una posible infección de la herida quirúrgica, que puede estar relacionada con el tipo de cirugía que se ha llevado a cabo o por el manchado del apósito tras su comprobación.

Por último, en referencia al error 4, de nuevo vuelve a aparecer un desorden en el modelo. La actividad “HBPM_post_iq” está situada después de la actividad “Tratamiento_AB” la cual se realiza en el día después de la operación. “HBPM_post_iq” corresponde a la receta de heparina unas horas después de la intervención. Esta sustancia es aplicada a los pacientes para evitar la formación de coágulos de sangre, después de una operación. Nuevamente, la solución al error 4 consiste en colocar la actividad “HBPM_post_iq” justo después de la que hace referencia a la operación, en este caso, “Protocolo_IQ”.

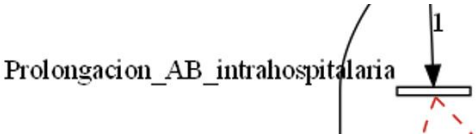


Figura 13: Corrección del error 3

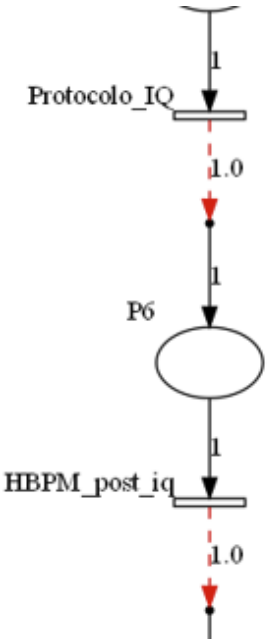


Figura 14: Corrección del error 4

A raíz de todos los errores mencionados, se realizó un esquema que detalla la cronología de los procesos en la vía clínica. Este esquema representa una base sólida para la creación del modelo, y puede ser consultado en el anexo 4 de este documento.

Una vez se corrigieron todos los errores del primer modelo obtenido, se obtuvo un segundo modelo formal y se evaluó clínicamente junto al equipo médico. Los errores encontrados fueron los siguientes:

- Error 1: Existencia de pacientes sin comprobación de manchado del apósito.
- Error 2: Problemas de interpretación.

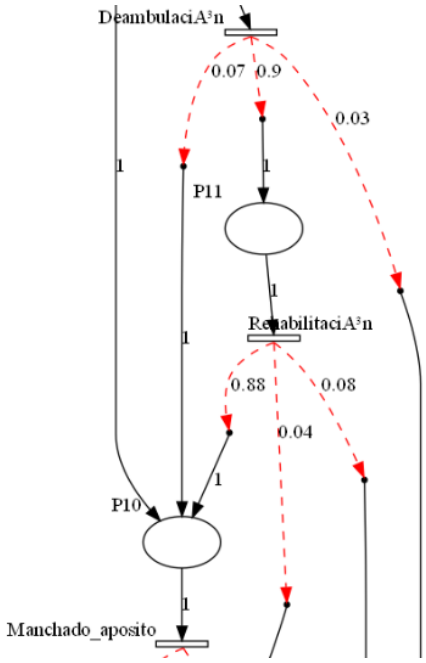


Figura 15: Error 1 del segundo modelo

En la Figura 15 se puede observar la presencia de hiperarcos salientes tanto de la transición “Deambulación”, como de la transición “Rehabilitación”. Algunos de estos hiperarcos, no están conectados a un lugar asociado con la transición “Manchado_apósito”. Esto implica que, el 3% de los pacientes que pasan por la transición “Deambulación” no dispararán la transición “Manchado_aposito”. Lo mismo ocurre con el 12% de los pacientes rehabilitados.

El origen de este error se debe a una interpretación incorrecta de la actividad “Manchado_aposito” por parte del personal encargado de la recogida de datos. Estos la consideraron como una variable booleana, es decir, algunos pacientes la poseen en sus registros y otros no. Sin embargo, en realidad, esta actividad conlleva 2 subactividades simultaneas, una revisión de la herida quirúrgica y la comprobación de si hay un manchado del apósito o no.

Por consiguiente, la solución aplicada a este error fue la creación de una nueva actividad llamada “Comprobación_de_la_herida_quirurjica”, a la cual todos los pacientes deben ser sometidos. Esta nueva actividad garantiza que todos los pacientes sean inspeccionados, independientemente de si después el apósito está manchado o no, y será aplicada una vez se le haya retirado al drenaje al paciente.

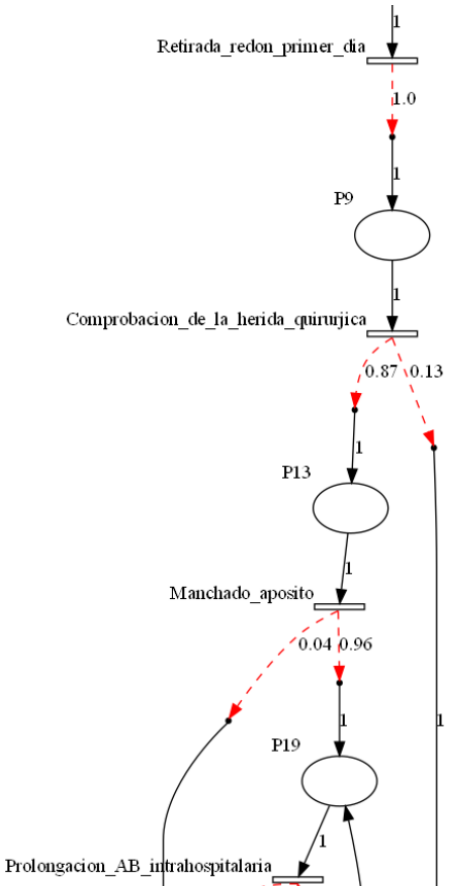


Figura 16: Error 1 del segundo modelo solucionado

Como se puede apreciar en la Figura 16, el error está solventado ya que después de la retirada del drenaje, todos los pacientes son revisados y clasificados en función del estado de la herida quirúrgica.

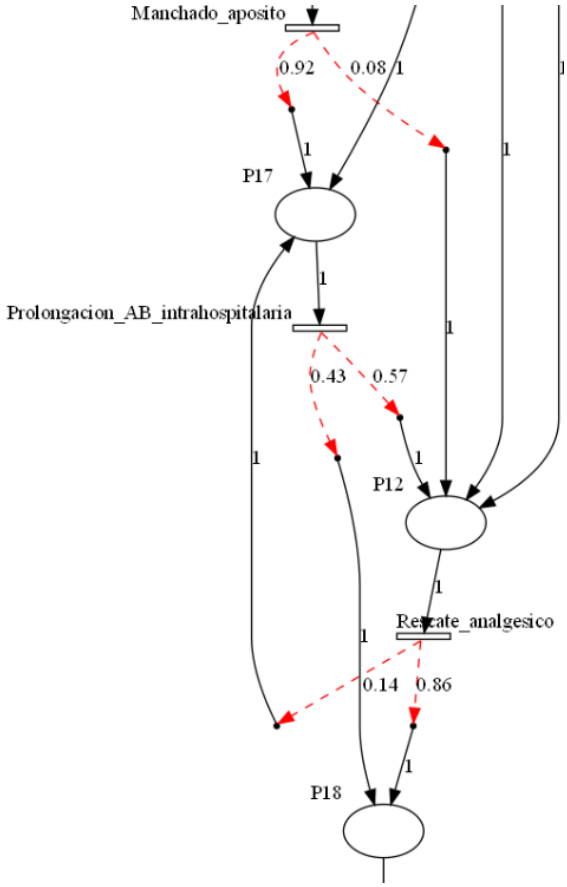


Figura 17: Error 2 del segundo modelo

El error 2 indicado en la Figura 17 se debe a que hay un 8% de los pacientes a los que, pese a dispararse la transición “manchado_aposito”, no se les prolonga el antibiótico. Esto se debe a que, en algunos pacientes, la actividad de “rescate_analgésico” está registrada antes de la actividad “Prolongación_AB_intrahospitalaria”. Esto puede llevar a confusión porque entre ambas actividades no hay una relación directa, tal y como se puede comprobar en el anexo 4.

El rescate analgésico es aplicado cuando el paciente lo solicita debido a que sufre dolores post quirúrgicos. En función de esta última actividad, se le da el alta al paciente con mayor o menor tardanza, pero no está directamente relacionada con la prolongación del antibiótico.

Para solucionar este problema, se consultó con el equipo médico si había algún tipo de dependencia temporal entre ambas actividades. Ante la negativa del equipo sobre la existencia de esta relación, se agrupó la actividad “Prolongación_AB_intrahospitalaria” junto a “manchado_aposito” en aquellos pacientes que presentaban esta actividad, al igual que se agrupó el rescate analgésico con la entrega del alta.

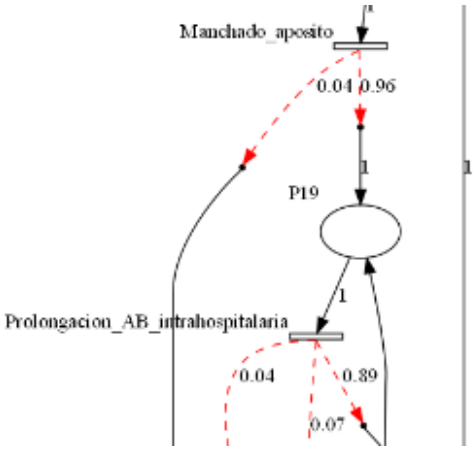


Figura 18: Error 2 del segundo modelo solucionado

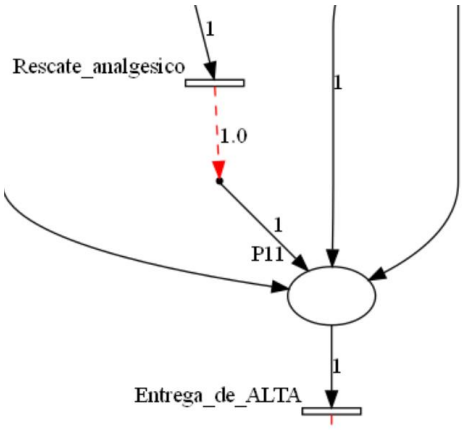


Figura 19: Error 2 del segundo modelo solucionado

En la Figura 18, se observa que al 96% de los pacientes que mancha el apósito se le aplica justo después la prolongación de antibiótico. En la Figura 19 se aprecia como desde la transición de “rescate analgésico” solo se tiene relación con la “Entrega_de_ALTA”.

Este tercer modelo fue estudiado por el servicio médico y el error detectado fue el siguiente:

- Error 1: No todos los pacientes “deambulan”.

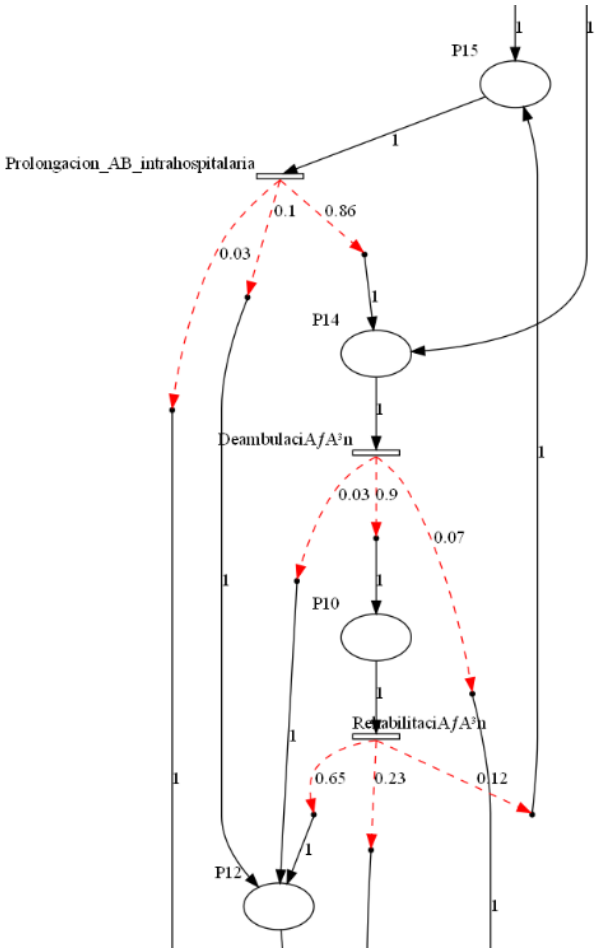


Figura 20: Error 1 del tercer modelo obtenido

En este caso, el error encontrado cobra una mayor importancia en referencia a la viabilidad clínica del modelo formal. El proceso de deambulación, explicado anteriormente, es un proceso que todos los pacientes operados de esta patología deben seguir de forma obligatoria. La Figura 20 muestra cómo, de la transición "Prolongación_AB_intrahospitalaria", salen tres hiperarcos, de los cuales dos (con una probabilidad conjunta de 13%), no realizan deambulación en una primera instancia. También se puede observar que desde la transición "Deambulación", uno de los hiperarcos retrocede al lugar que conecta con la transición "Prolongación_AB_intrahospitalaria" con un 12% de probabilidad. Este fenómeno se debe a que la prolongación de antibiótico se puede deber, o no, a un manchado del apósito, es decir, no debe haber necesariamente un manchado de la herida quirúrgica para que se le aplique antibiótico al paciente. Como se ha mencionado anteriormente, la prolongación o no de antibiótico puede depender también del tipo de cirugía realizada, y puede recetarse de manera profiláctica. Por lo tanto, en algunos casos, en lugar de seguir la secuencia habitual manchado→prolongación antibiótica→deambulación→rehabilitación; se realiza la prolongación del antibiótico una vez se ha producido la rehabilitación.

Para asegurar que todos los pacientes realizan la deambulación, se debe garantizar que el 12% de los pacientes rehabilitados a los que se les prolonga el antibiótico (que ya han deambulado), corresponde al mismo número de pacientes que tras la prolongación, van directamente a la parte final del proceso sin pasar por “Deambulación”. Para ello, se calcula, primero la probabilidad de los pacientes rehabilitados a los que se les prorroga posteriormente el antibiótico. Después, se calcula la probabilidad conjunta de los dos hiperarcos que no están unidos al lugar asociado a la transición “Deambulación”. Partiendo de “Prolongación_AB_intrahospitalaria”, la probabilidad de no dirigirse a “Deambulación” corresponde a la suma de las dos probabilidades de los hiperarcos verdes de la Figura 21 (0,1% + 0,03%), obteniendo un valor del 13%.

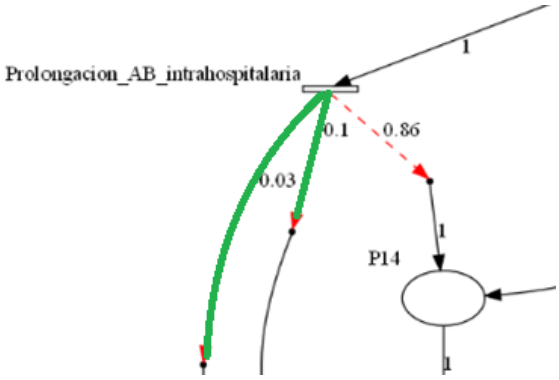


Figura 21: Cálculo de la probabilidad del primer caso “pacientes que no se dirigen a deambulación”

Por otro lado, de acuerdo con el funcionamiento de las PTPN, mediante la multiplicación de la probabilidad de los hiperarcos verdes indicados en la Figura 22, (0,86 · 0,9 · 0,12), se obtiene como resultado una probabilidad de 9,3%. Puesto que ambos valores no coinciden, se concluye que hay pacientes que no realizan la deambulación. Se debe localizar la fuente de error y corregir el modelo.

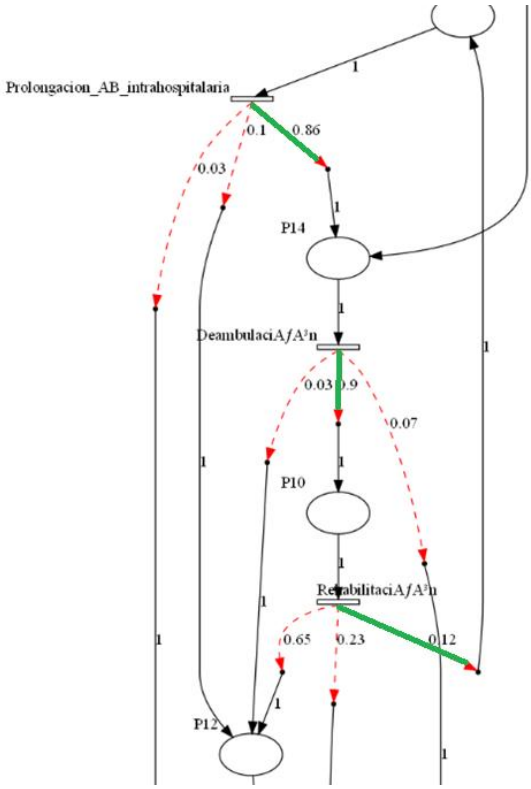


Figura 22: Cálculo de la probabilidad del segundo caso "pacientes deambulados y rehabilitados a los que se les prolonga el antibiótico"

La proveniencia de este fallo es que, tal y como muestra la Figura 23, en algunos de los pacientes, se colocó un NO de forma accidental en la actividad deambulación y el programa de filtrado la eliminó. Por ende, la resolución se basó en acudir al Excel filtrado y añadir la actividad con la fecha correspondiente en aquellos casos en los que no apareciera.

Comprobacion ayunas IQ	08/10/2023	20:54	P
AB IQ	09/10/2023	12:49	P;M
Protocolo IQ	09/10/2023		P
AB post IQ	09/10/2023	20:30	P;M
Deambulación	NO		
Rehabilitación	NO		

Figura 23: Origen del error

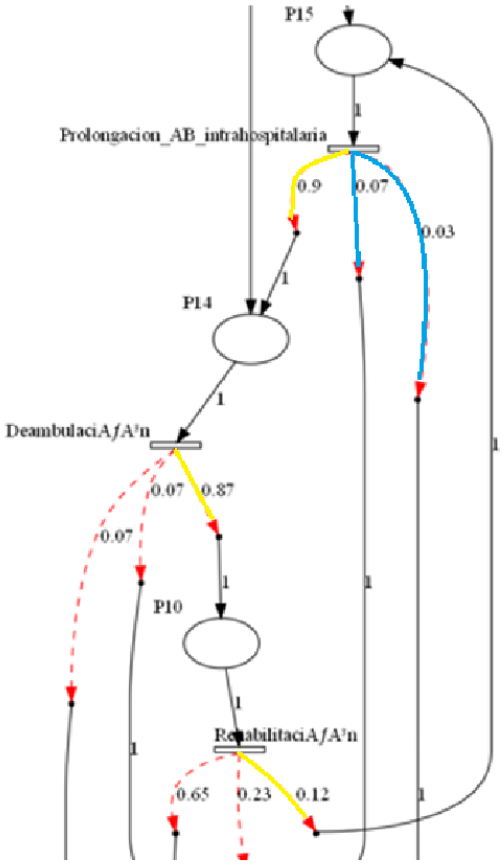


Figura 24: Error 1 del tercer modelo corregido

Como se puede comprobar en la Figura 24, en este nuevo modelo, la probabilidad de los hiperarcos no conectados con la transición “Deambulación” (hiperarcos azules en la Figura 24), es del 10%. De forma análoga, la probabilidad de que se prolongue el antibiótico después de la rehabilitación (hiperarcos amarillos) es también de un 10%. Todos los pacientes realizan el proceso de deambulación. Finalmente, el modelo obtenido tras esta última iteración es clínicamente válido.

3.5 Problemas encontrados

En esta sección se van a repasar las dificultades que se han ido encontrando durante la realización de este TFG.

- **Retraso en la entrega de los datos:** Como ha sido descrito anteriormente en el apartado 3.1, la recogida de datos fue un proceso exhaustivo y costoso se realizó de forma manual, paciente por paciente. La ausencia de herramientas en el hospital que ayuden a agilizar este proceso y teniendo en cuenta la saturación existente en el sistema sanitario, hicieron que el retraso fuera inevitable. Por tanto, durante ese tiempo, el diseño de la nueva vía clínica estuvo parado.

- **Actividades registradas con diferente formato:** En algunas de las actividades, tal y como se puede apreciar en el Anexo 1, no coincidían los formatos. Lo más plausible es que sea debido a que la recogida de datos se diera de forma intermitente en el tiempo y por diferentes integrantes del personal sanitario. Por ello es necesario el tratamiento de los datos una vez han sido obtenidos.

- **Dificultades de coordinación:** En un equipo multidisciplinar como en este proyecto, se encuentran dificultades a la hora de coordinar los tiempos de realización. Debido a la alta ocupación de los integrantes de este, no siempre ha sido posible establecer encuentros para poder avanzar en el trabajo. Es indispensable que haya una adaptación entre ambas partes para poder efectuar reuniones y que el proyecto pudiera seguir adelante.

- **Adaptación al entorno:** A lo largo de la titulación, se trabaja en multitud de campos de estudio y con diferentes softwares que permiten que los alumnos sean capaces de familiarizarse con diferentes escenarios de trabajo. Aun así, bien es cierto que la programación en los lenguajes más utilizados como Python no es uno de esos campos. Dadas estas circunstancias es necesario emplear un tiempo extra en formación para poder manejar de forma correcta los entornos de programación, el lenguaje a utilizar y entender la implementación que es utilizada para la obtención del resultado.

4 Resultados

4.1 Vía clínica obtenida

Finalmente, el modelo formal obtenido se puede observar en la Figura 25.

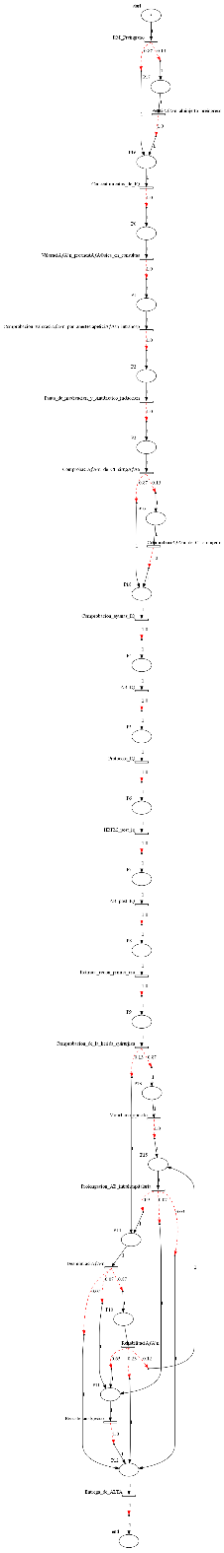


Figura 25: Vía clínica del LCA

Los resultados en forma de red de Petri pueden ser revisados con más detalle en el Anexo 5 y explicados en el siguiente apartado del trabajo.

4.2 Análisis

En primer lugar, la primera parte de la red ilustra las actividades realizadas durante el preingreso de los pacientes. Esta incluye tanto a aquellos que solicitan un aloinjerto como a aquellos que se operan mediante un autoinjerto. La red permite visualizar claramente que los segundos son mayoritarios con un 87% (ver Figura 26).

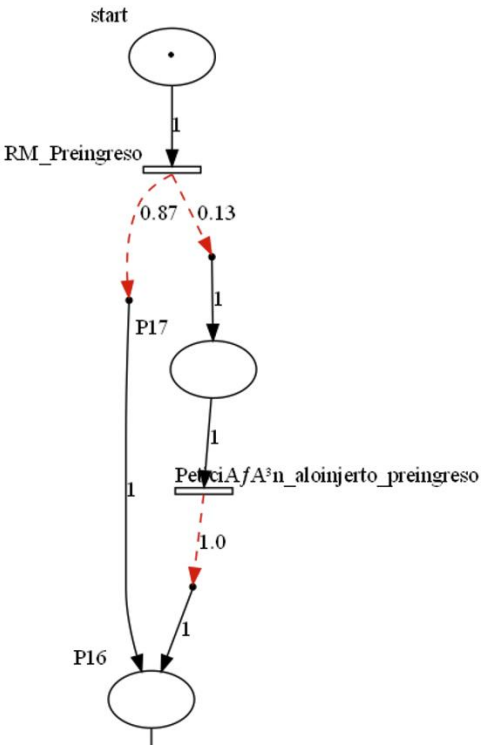


Figura 26: Preingreso

Después, la red muestra una serie de actividades secuenciales y ordenadas, enumeradas en el Anexo 4. Sin embargo, en la parte final de la red, correspondiente al post-operatorio, el flujo de actividades varía. Se observan diferencias en la realización o no de ciertas actividades. Por ejemplo, el 87% de los pacientes sufren un manchado del apósito (ver Figura 27).

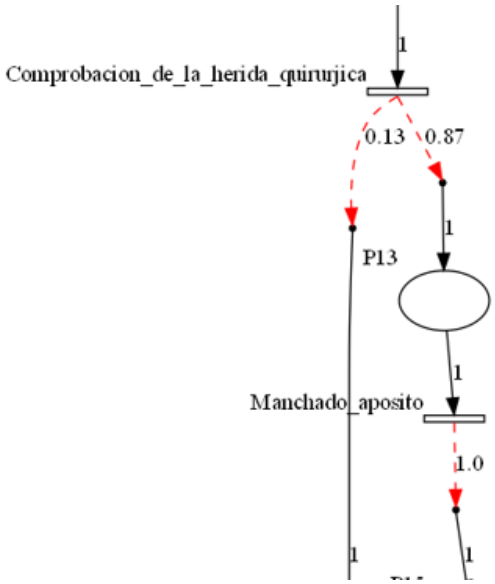


Figura 27: Pacientes con manchado

Como se ha demostrado anteriormente, todos los pacientes realizan una deambulación. No obstante, un 14% de los pacientes deambulados no realizan la rehabilitación en el hospital. Además, se ha mencionado que un 12 % de los pacientes rehabilitados requieren un tratamiento antibiótico posterior, lo que puede prolongar su estancia intrahospitalaria. También cabe destacar que el rescate analgésico tampoco es de carácter obligatorio para todos los pacientes: solo el 65% de los pacientes rehabilitados necesitan este tratamiento (ver Figura 28).

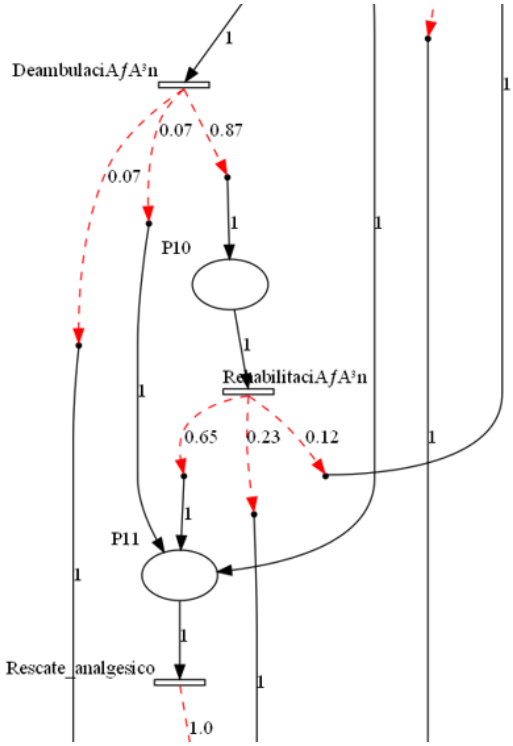


Figura 28: Postoperatorio

Este tipo de modelo permite identificar de manera clara qué caminos dentro del proceso son más probables y, por tanto, requieren más atención. También permite calcular el número de pacientes que necesitarán alguno de los tratamientos descritos. Por último, los bucles y las conexiones pueden también ayudar a prever posibles bloqueos o situaciones donde el flujo del tratamiento puede estancarse.

5 Conclusiones

- **Creación de un modelo formal optimizado para pacientes con rotura del LCA:** Se ha diseñado, por medio del algoritmo de descubrimiento de patrones, una vía clínica para los pacientes que sufren una rotura del LCA. Esta vía es representada mediante un modelo formal en forma de red de Petri, demostrando que es un formalismo muy válido para esta labor. Parte de su validez proviene de su representación en forma de marcado: gracias a este, es posible representar los distintos estados de cada paciente, es decir las actividades que se han llevado a cabo para cada uno de ellos y las que quedan por realizar. Esto ayuda considerablemente a evitar una repetición de actividades ya efectuadas, optimizando así el proceso.

  Adicionalmente este nuevo modelo posee la peculiaridad de contar con las probabilidades de los sucesos que componen el proceso total. Esto supone una gran ventaja frente a otros modelos formales de vías clínicas ya existentes. Dichas probabilidades contribuyen de forma significativa a optimizar todo el proceso, permitiendo una mejor gestión de los recursos y tiempos, y ayudando a la toma de decisiones.

- **Limitaciones del presente estudio:** El presente trabajo ha enfrentado ciertos desafíos, como la recopilación manual y exhaustiva de datos y las dificultades en la coordinación entre los diferentes actores involucrados. La inexistencia de herramientas de gestión de datos automáticas en el entorno hospitalario dificulta el proceso de recopilación de datos, y por consiguiente el diseño de vías clínicas. Además, constituye una posible fuente de error metodológica y aumenta la variabilidad en la recogida de datos.

  Esta limitación también afecta al tamaño de la muestra. Al ser un proceso tan correoso, acota el número de posibles pacientes analizados. A su vez, el tamaño de muestra escogido (30 pacientes) puede no ser representativo de todas las posibles variaciones en la población afectada por la rotura del LCA.

- **Puerta abierta a futuras líneas de investigación:** En investigaciones futuras, podría ser posible llevar a cabo un seguimiento a largo plazo de los pacientes tratados bajo la nueva vía clínica. Esto permitiría evaluar su efectividad en términos de recuperación, calidad de vida, y reducción de complicaciones postoperatorias, aportando datos valiosos para futuras mejoras del modelo. Esta evaluación sería crucial para validar los beneficios del nuevo modelo.

  Debido al éxito de los resultados obtenidos en esta investigación, otra posible línea de investigación futura sería adaptar dicho modelo a otros centros hospitalarios, teniendo en cuenta el posible requerimiento de ajustes significativos, debido a diferencias en protocolos, recursos, y perfiles de pacientes.

  También cabe mencionar que hay abundante espacio para seguir avanzando en el desarrollo de vías clínicas mediante recursos ingenieriles aplicados a todo tipo de patologías.

6 Bibliografía

[1]: López-Martín, N., Escalera-Alonso, J., Thuissard-Vasallo, I. J., Andreu-Vázquez, C., & Bielza-Galindo, R. (2023). Resultado de la actualización de la vía clínica de la fractura de cadera del anciano en un hospital universitario de Madrid. *Revista Española de Geriatria y Gerontologia*, *58*(2), 61–67.

[2]: Torres, D. (2024, 4 de agosto). Carolina Marín se rompe la rodilla en París cuando acariciaba la final olímpica de bádminton. *El País.* Recuperado de: https://elpais.com/deportes/juegos-olimpicos/2024-08-04/carolina-marin-se-rompe-la-rodilla-en-paris-cuando-acariciaba-la-final-olimpica-de-badminton.html

[3]: Van der Aalst, W. M. P. (2014). *Process mining in the large: A tutorial*. Business Intelligence, 33–76.

[4]: Sanz, D. (2023). *Minería de procesos en el sistema de gestión de la salud* (Trabajo de Fin de Grado). Universidad de Zaragoza.

[5]: Moigne, T. L., Mahulea, C., & Faraut, G. (2024). Optimizing Clinical Pathways: A Probabilistic Time Petri Net approach. *IFAC-PapersOnLine, 58*(1), 96-101.

[6]: Silva, M. (2002). *Las Redes De Petri En La Automática Y La Informática.* (AC). Madrid, España.

[7]: Mahulea, C., Mahulea, L., Garcia-Soriano, J., Colom, J. (2018): Modular Petri Net Modeling of Healthcare Systems. *Flexible Services and Manufacturing Journal 30*(1- 2), 329–357.

[8]: Bernardi, S., Mahulea, C., & Albareda, J. (2019). Toward a decision support system for the clinical pathways assessment. *Discrete Event Dynamic Systems*, *29*(1), 91-125.

[9]: Emzivat, Y., Delahaye, B., Lime, D., and Roux, O.H. (2016). Probabilistic time petri nets. 37th international conference on applications and theory of Petri nets and concurrency, 261–280.

[10] Saives, J., & Faraut, G. (2014). Automated Generation of Models of Activities of Daily Living. *IFAC Proceedings Volumes*, *47*(2), 13-20.

[11]: Rojas, E., Munoz-Gama, J., Sepúlveda, M., & Capurro, D. (2016). Process mining in Healthcare: A literature review. *Journal of Biomedical Informatics, 61*, 224–236.

[12] Acevedo, R. J., Rivera-Vega, A., Miranda, G., & Micheo, W. (2014). Anterior cruciate ligament injury: identification of risk factors and prevention strategies. *Current sports medicine reports*, *13*(3), 186–191.

[13] Duthon, V. B., Barea, C., Abrassart, S., Fasel, J. H., Fritschy, D., & Ménétrey, J. (2006). Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy: official journal of the ESSKA*, *14*(3), 204–213.

[14] Rodríguez J. (2016). Ligamento cruzado anterior, la información más completa. Recuperado de https://lafisioterapia.net/ligamento-cruzado-anterior-la-informacion-mas-completa/.

[15] Ayala-Mejías J.D., García-Estrada G.A., Alcocer Pérez-España L. (2014). Lesiones del ligamento cruzado anterior. *Acta ortopédica mexicana*, *28*(1), 57-67.

[16] Entrena C.M., Rincón N.J., Rosas A.M. Ligamento cruzado anterior: prevención, rehabilitación preoperatoria y postoperatoria en atletas. *Revista digital: Actividad Física y Deporte.*

[17] Griffin L, Albohm M, Arendt E, al e. Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries: A riview of Hunt Valley II meeting. The American Journal of Sports Medicine. 2006 Septiembre; 34(9):1.512-1.532.

[18] Morrison JB. (1970) The mechanics of the knee in relation to normal walking. *J Biomech*; 3:51-61.

[19] Forriol F, Maestro A, Vaquero Martín J. (2008). El Ligamento cruzado anterior: morfología y función. *Trauma, 19*(1), 7-18

[20]: Magnusson K, Turkiewicz A, Hughes V, et al. (2021) High genetic contribution to anterior cruciate ligament rupture: Heritability ~69%. *British Journal of Sports Medicine*; 55:385-389.

[21] Viñao A. (2016). *Factores de riesgo y prevención de la rotura del ligamento cruzado anterior en deportistas* (Trabajo de Fin de Grado). Universidad de Valladolid.

[22]: Gerami, M. H., Haghi, F., Pelarak, F., & Mousavibaygei, S. R. (2022). Anterior cruciate ligament (ACL) injuries: A review on the newest reconstruction techniques. *Journal of family medicine and primary care*, *11*(3), 852–856.

[23] Yañez, R.D., Ocaranza, D.D., Dölz, R.L. (2010). Elección del injerto en cirugía de reconstrucción de ligamento cruzado anterior. *Artroscopia, 17*(2), 199-204.

[24] Shelton, W. R., Papendick, L., & Dukes, A. D. (1997). Autograft versus allograft anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy: the journal of arthroscopic & related surgery: official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*, *13*(4), 446–449.

[25] Barclay F., Leunda J., Cavallo J., Rodríguez Rey J., Marangoni L. Ligamento Cruzado Anterior Anatomía y Ciencias básicas aplicadas a la Técnica quirúrgica. *Revista argentina de artroscopia, 16*(1), 40.

7 Anexos

7.1 Anexo 1: Configuraciones más comunes

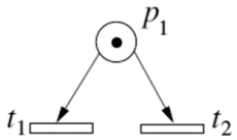


Figura 29: Selección [6]

En la Figura 29 se puede observar una de las configuraciones más comunes, presente en la Figura 3, esta configuración recibe el nombre de selección. Ocurre cuando un lugar está asociado a varias transiciones, si ese lugar posee una única marca, como es en este caso, deberá elegir que transición dispara.

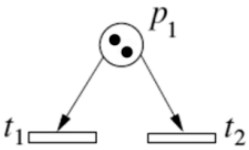


Figura 30: Selección con dos marcas [7]

En el caso de la Figura 30, el lugar p_1 posee dos marcas con las que podría disparar las dos transiciones o, podría ejecutarse también la misma transición dos veces. Es el lugar el que decide que transición se dispara en función de la entrada que esta transición representa.

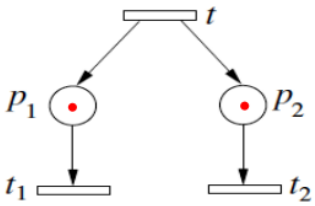


Figura 31: Concurrencia [7]

La Figura 31 ilustra la estructura de concurrencia que parte de la situación contraria a la configuración de selección. En este caso la transición t, al ser disparada, coloca dos marcas en los dos siguientes lugares p_1 y p_2, pudiéndose de esta forma ejecutar las dos acciones de las transiciones t_1 y t_2 de forma simultánea.

7.2 Anexo 2: Registro de datos

Causa de la intervención	Cirujano	Actividad	Fecha
ROTURA LCA	CASTAN	RM Preingreso	03/12/2021
		Petición aloinjerto preingreso	
		Consentimientos de IQ	20/01/2022
		Valoración preanestésica en consultas	06/10/2023
		Comprobacion valoración por anestesia/petición intrahosp	08/10/2023
		Pauta de medicacion y Antibiotico induccion	09/10/2023
		Comprobación de CI cirugía	08/10/2023
		Comprobación de CI aloinjerto	
		Comprobacion ayunas IQ	08/10/2023
		AB IQ	09/10/2023
		Protocolo IQ	09/10/2023
		AB post IQ	09/10/2023
		Deambulación	NO
		Rehabilitación	NO
		Retirada redon primer dia	10/10/2023
		Rescate analgesico	10/10/2023
		Manchado aposito	10/10/2023
		Tratamiento AB	
		HBPM post iq	10/10/2023
		Entrega de ALTA	11/10/2023

Figura 32: Registro de eventos proporcionado por el equipo médico

La Figura 32 muestra el registro de eventos suministrado por el equipo médico. Se pueden observar espacios en blanco entre actividades, los cuales son útiles para delimitar los días del preoperatorio, el día de la operación y el/los días postoperatorios. Sin embargo, se han de eliminar porque estas pueden ser interpretadas por el programa como actividades, y colocar transiciones vacías en el modelo. Además, se aprecian valores en la columna fechas del tipo Sí y No o en blanco que deben ser tratados también.

7.3 Anexo 3: Código del programa de filtrado de datos

C: > Users > marcv > OneDrive > Documentos > TFG_LCA > Antiguo > Documentos del trabajo > limpiardatos.py > ...

```python
import pandas as pd

# Leer el archivo Excel
df = pd.read_excel('C:/Users/marcv/OneDrive/Documentos/TFG LCA/Documentos del trabajo/excel lca.xlsx')
print(df.columns)

# Corregir nombres de columnas si es necesario
df.columns = ['NHC', 'Causa de la intervención', 'Cirujano', 'Actividad',
              'Fecha', 'Hora', 'Recursos - Formato (Ejemplo: AntibioticoX;Cama;Habitacion;SalaRayos)', 'Duración IQ',
              'Aloinjerto/autoinjerto', 'Tipo aloinjerto', 'Lemaire',
              'RDM extensión ', 'RDM flexión ']

# Reemplazar valores específicos en la columna 'Actividad' si la columna 'Aloinjerto/autoinjerto' es 'AUTOINJERTO'
for i in range(len(df)):
    if df.loc[i, 'Aloinjerto/autoinjerto'] == 'AUTOINJERTO':
        for j in range(i, i+10):

            if df.loc[j, 'Actividad'] in ['Comprobación de CI aloinjerto', 'Petición aloinjerto preingreso']:
                df.loc[j, 'Actividad'] = ''

# Convertir la columna 'Fecha' al tipo de datos datetime, forzando errores a NaT
df['Fecha'] = pd.to_datetime(df['Fecha'], errors='coerce')
#Eliminar las filas en las que haya un 'no'
df = df.dropna(subset=['Fecha'])

# Eliminar filas donde la columna 'Actividad' esté en blanco
df = df[df['Actividad'] != '']

# Guardar los cambios en un nuevo archivo o sobrescribir el original
#df.to_csv('lca_limpio.csv', index=False)

# Guardar los cambios en un nuevo archivo CSV con un delimitador diferente
df.to_csv('lca_limpio.csv', index=False, sep=';')
```

Figura 33: Código del filtro de los datos.

Como se puede observar en la Figura 33, el programa lee el archivo y corrige los posibles errores en las actividades. A continuación, filtra las mismas en función de si el paciente fue operado con aloinjerto o autoinjerto. Para ello, elimina las actividades relacionadas con el aloinjerto en caso de que en este se utilizara un autoinjerto. Finalmente, sustituye los valores Sí y No, por un espacio en blanco en caso de No y aportandole la fecha correspondiente en caso de Si. Antes de la conversión a CSV elimina los espacios en blanco.

Causa de la ir	Cirujano	Actividad	Fecha	Hora	Recursos - Fc	DuraciÃ³n IQ	Aloinjerto/au
ROTURA LCA	CASTAN	RM Preingres	03/12/2021		P;M	120	AUTOINJERTO
		Consentimier	20/01/2022	13:50:00	P		
		ValoraciÃ³n p	06/10/2023	8:45:00	P,M		
		Comprobacic	08/10/2023		P		
		Pauta de mec	09/10/2023	0:01:00	P		
		ComprobaciÃ	08/10/2023				
		Comprobacic	08/10/2023	20:54:00	P		
		AB IQ	09/10/2023	12:49:00	P;M		
		Protocolo IQ	09/10/2023		P		
		HBPM post iq	10/10/2023	18:00:00	P;M		
		AB post IQ	10/10/2023	20:30:00	P;M		
		Retirada redc	10/10/2023	13:06:00	P		
		Comprobacic	10/10/2023	13:06:00	P		
		Manchado ap	10/10/2023	13:06:00	P;M		
		Prolongacion	27/06/2023	7:23:00			
		DeambulaciÃ	08/07/2023				
		Rescate anal	10/10/2023	21:00:00	P;M		
		Entrega de AL	11/10/2023	10:47:00	P		

Figura 34: Resultado del filtrado

7.4 Anexo 4: Esquema de la vía clínica a desarrollar

VÍA CLÍNICA LCA

PREINGRESO (Estas actividades se realizan una detrás de otra preingreso)

1. Valoración médica y solicitud de RM
2. Entrega de los consentimientos informados e inclusión en lista de espera quirúrgica
3. Solicitud de aloinjerto
4. Valoración anestésica previa

DÍA INGRESO

- Comprobación de valoración anestésica
- Comprobación de premedicación y pauta de esta: **AYUNAS**
- Comprobación de entrega de los consentimientos informados
- Comprobación de la disponibilidad del material

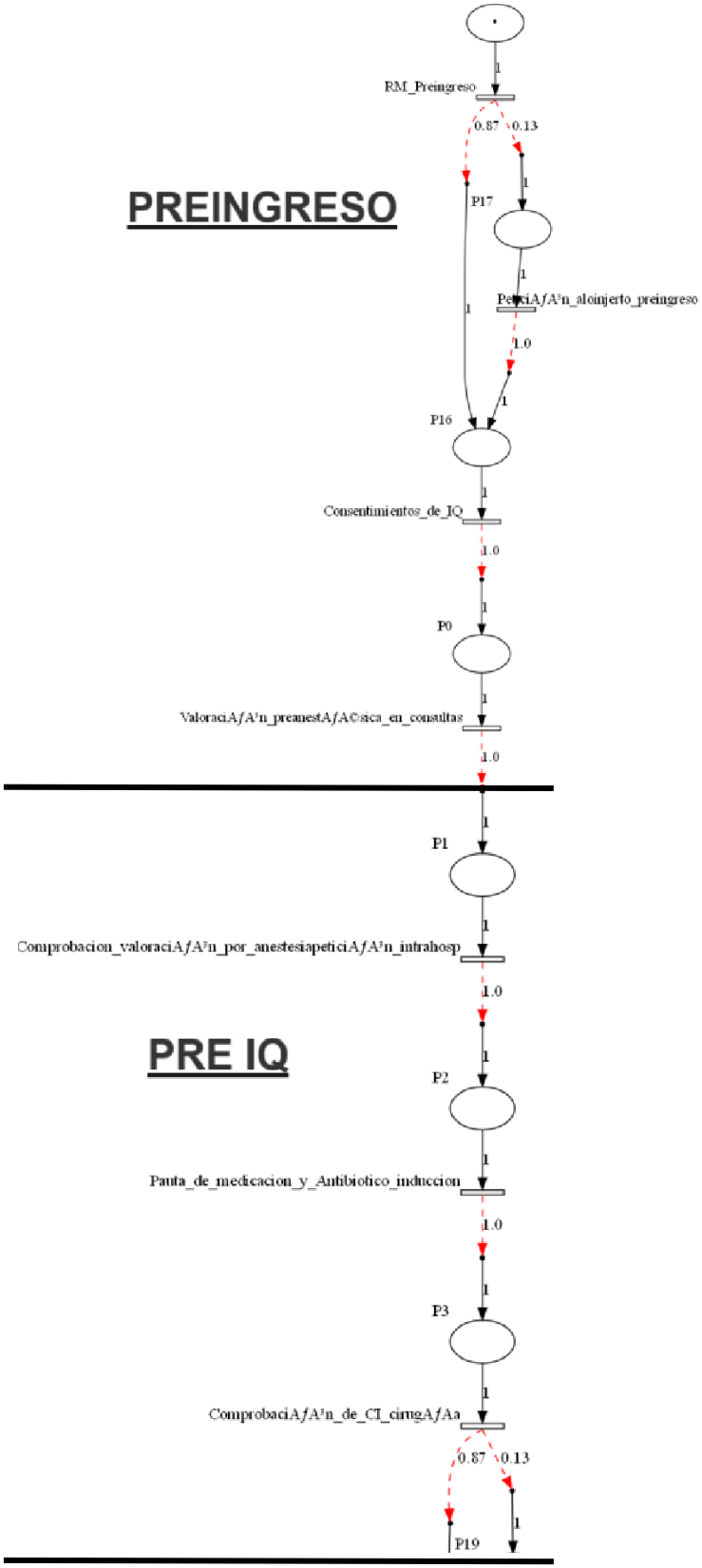
DÍA DE LA INTERVENCIÓN/IQ

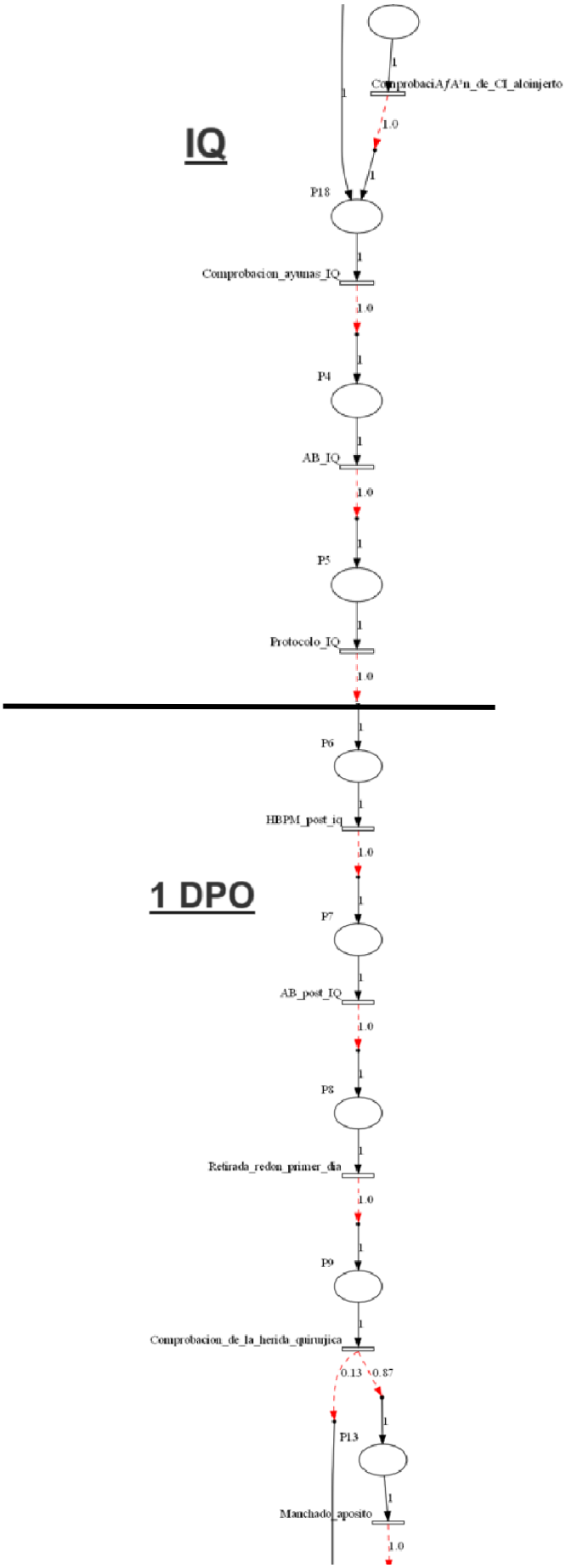
- Intervención y protocolo quirúrgico
- Pautamos medicación postIQ : HBPM (heparinas) , analgésicos, y AB (antibiótico) si lo requiere

PRIMER DÍA PPO

- Retirada del drenaje
- Comprobación de la herida quirúrgica: según estado valoramos ampliar cobertura AB
- Deambulación s/n
- Rehabilitación
- Rescates analgésicos s/n
- Entrega del ALTA (condicionada por manchado de la herida, y solicitud de analgésicos)

7.5 Anexo 5: Resultado final




IQ
ComprobaciÃƒÂ³n_de_CI_aloinjerto
P18
Comprobacion_ayunas_IQ
P4
AB_IQ
P5
Protocolo_IQ
1 DPO
P6
HBPM_post_iq
P7
AB_post_IQ
P8
Retirada_redon_primer_dia
P9
Comprobacion_de_la_herida_quirujica
0.13
0.87
P13
Manchado_aposito

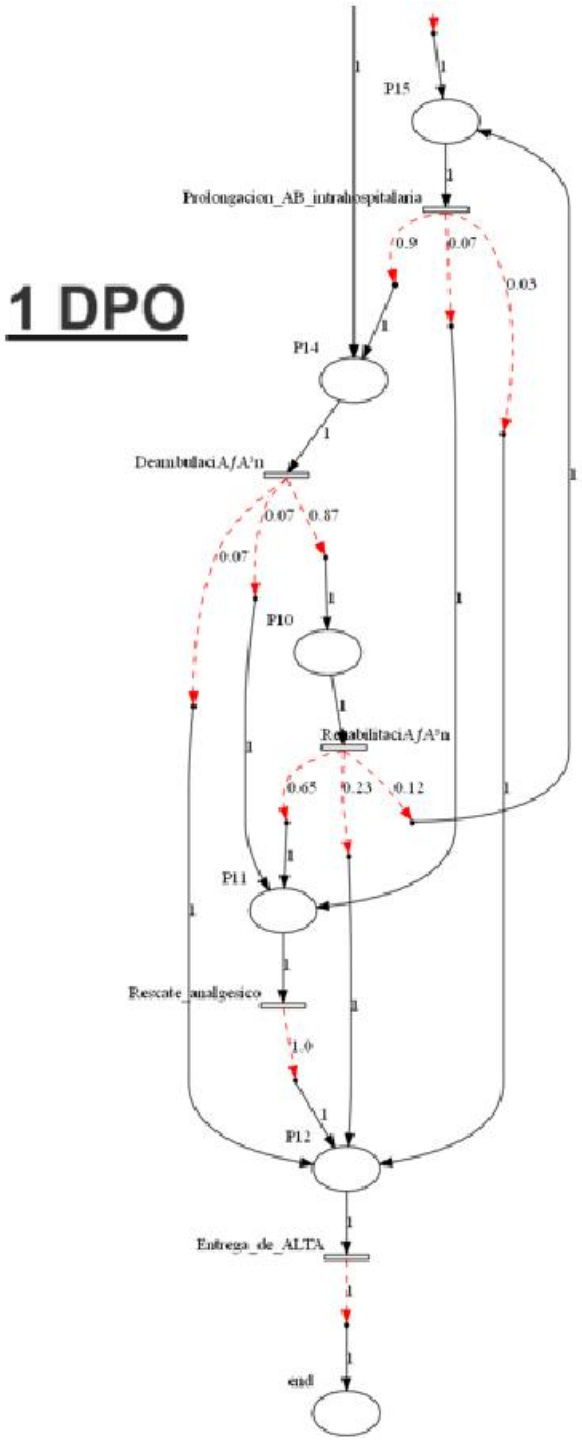


Figura 35: Modelo formal dividido por partes de la vía clínica

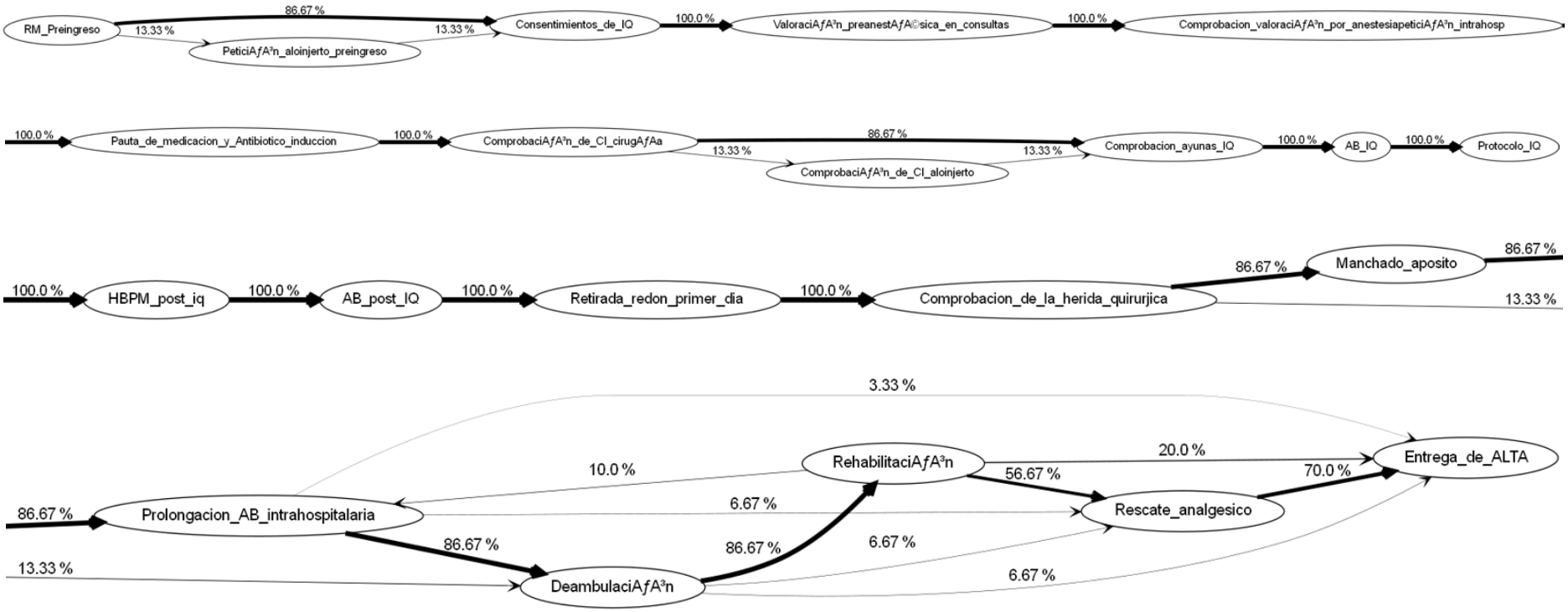


Figura 36: Esquema de la vía clínica importado desde Python