



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

DSIC

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS
INFORMÁTICOS Y COMPUTACIÓN



dmip

Herramienta de análisis y minado de workflows en ejercicios de laparoscopia

DAVID NIEVES CORDONES *daniecor@dsic.upv.es*

CÈSAR FERRI RAMÍREZ *cferri@dsic.upv.es*

JOSÉ HERNÁNDEZ ORALLO *jorallo@dsic.upv.es*

CARLOS MONSERRAT ARANDA *cmonserr@dsic.upv.es*

MARÍA JOSÉ RAMÍREZ-QUINTANA *mramirez@dsic.upv.es*

A decorative network diagram in the top-left corner, featuring a complex web of interconnected nodes and lines. The nodes are represented by circles of varying sizes, some with concentric rings, and the lines are thin and grey. The diagram is partially cut off by the left edge of the slide.

Introducción

A decorative network diagram in the bottom-right corner, similar to the one in the top-left. It shows a cluster of interconnected nodes and lines, with nodes represented by circles of varying sizes. The diagram is partially cut off by the right edge of the slide.

Motivación

- ◎ Sistemas de supervisión automática, alternativa económica a la automatización de tareas humanas.
- ◎ Prevención de errores y mejora de procesos mediante la monitorización constante de acciones (e.g., entrenamiento de destrezas en cirugía laparoscópica).
- ◎ Programación manual de rutinas de entrenamiento, muy costoso y difícil de actualizar.
- ◎ Alternativa: El sistema aprende a partir de uno ejemplos demostrativos.

Caso de estudio: JIGSAWS dataset

- ◎ Dataset de actividades quirúrgicas.
 - 3 tareas de entrenamiento.
 - 8 cirujanos entre expertos, intermedio y aprendices.
 - Aprox. 5 *trials* (ejemplos) x cirujano. ([Total: 103 trials](#)).
 - Evaluados y puntuados por expertos externos.
- ◎ Recursos por cada ejemplo registrado.
 - Grabación en video.
 - Cinemáticas a bajo nivel.
 - Anotación manual de gestos quirúrgicos.



Anotación manual de gestos quirúrgicos

- ⦿ Anotación en forma de secuencia de gestos quirúrgicos.
- ⦿ Gesto: Actividad quirúrgica atómica e intencional que tiene un resultado apreciable y significativo.

No overlap

```
◀▶ Suturing_E002.txt
1 23 77 G1
2 78 158 G5
3 159 236 G2
  237 631 G3
  632 807 G6
  808 984 G4
  985 1051 G2
8 1052 1257 G3
  1258 1407 G6
10 1408 1513 G4
11 1514 1569 G2
12 1570 1770 G3
13 1771 1911 G6
14 1912 2034 G4
15 2035 2093 G2
16 2094 2362 G3
17 2363 2471 G6
18 2472 2948 G11
```

Table 2. Gesture vocabulary

Gesture index	Gesture description
G1	Reaching for needle with right hand
G2	Positioning needle
G3	Pushing needle through tissue
G4	Transferring needle from left to right
G5	Moving to center with needle in grip
G6	Pulling suture with left hand
G7	Pulling suture with right hand
G8	Orienting needle
G9	Using right hand to help tighten suture
G10	Loosening more suture
G11	Dropping suture at end and moving to end points
G12	Reaching for needle with left hand
G13	Making C loop around right hand
G14	Reaching for suture with right hand
G15	Pulling suture with both hands.

Tareas registradas en JIGSAWS



Needle Passing

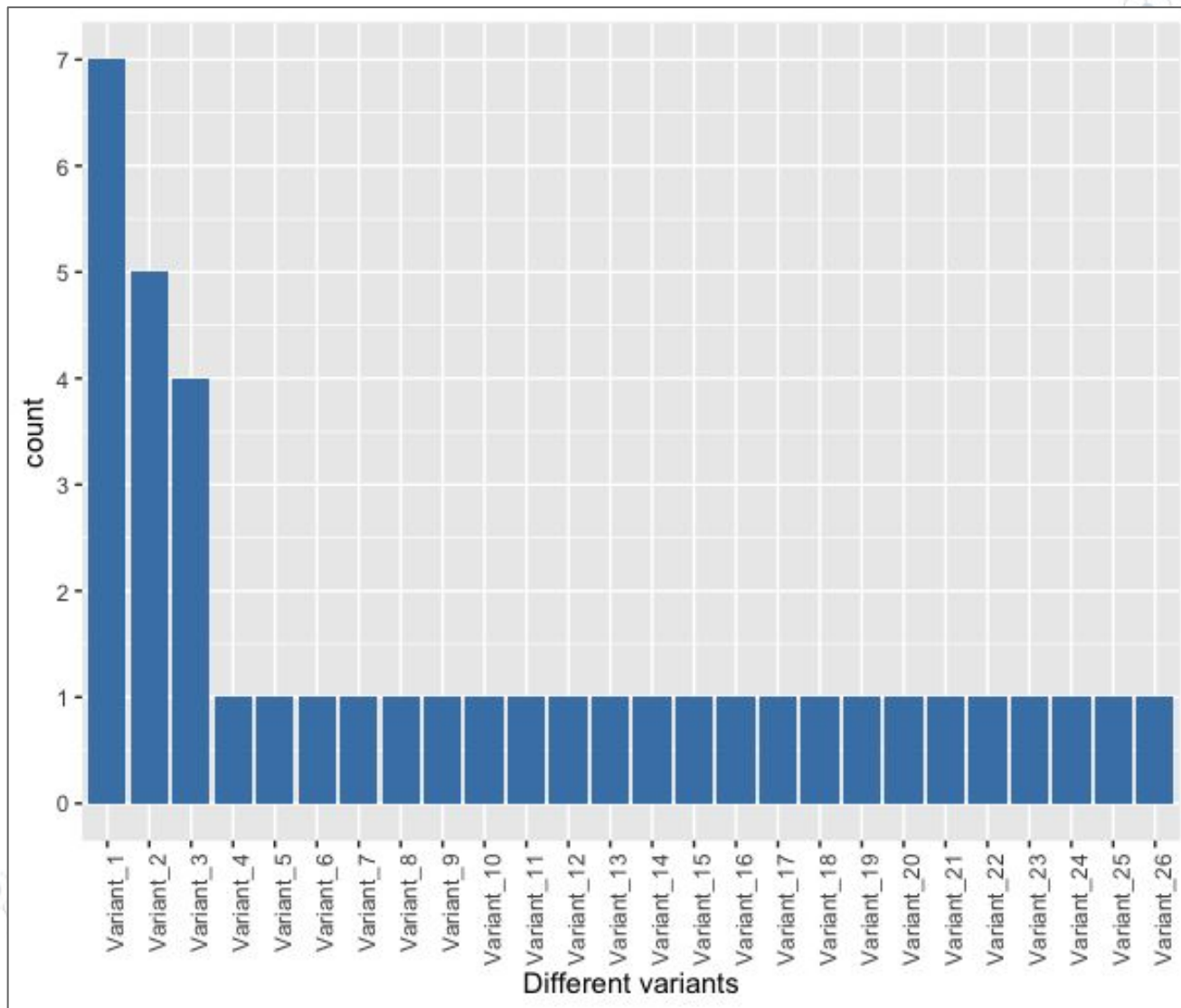


Knot Tying



Suturing

Diferentes variantes para la tarea de sutura





¿Cómo extraer las formas subyacentes de la tarea (i.e., workflow) de unos ejemplos demostrativos?

- © En contextos con:
 - Pocos ejemplos.
 - Cierta grado de libertad al realizar la tarea.
 - Actividades de apoyo (pero no esenciales).

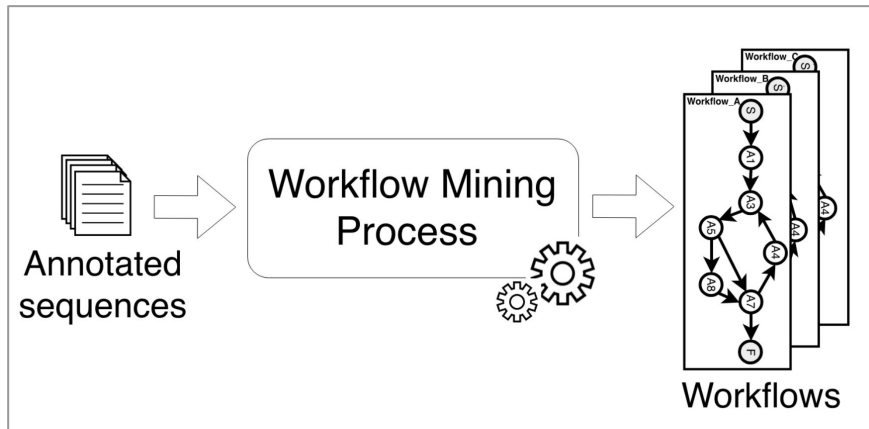
A decorative network diagram in the top-left corner, featuring a complex web of interconnected nodes and lines. The nodes are represented by circles of varying sizes, some with concentric rings, and the lines are thin and grey. The diagram is partially cut off by the left edge of the frame.

Herramienta desarrollada

A decorative network diagram in the bottom-right corner, similar to the one in the top-left. It shows a cluster of interconnected nodes and lines, with nodes represented by circles of varying sizes and some having concentric rings. The lines are thin and grey. The diagram is partially cut off by the right and bottom edges of the frame.

Herramienta desarrollada

Método de minado de workflows



Aplicación web de análisis

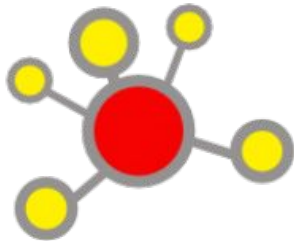
The screenshot shows the 'Surgical Workflow Mining' web application interface. The top navigation bar is purple with the title 'Surgical Workflow Mining' and a menu icon. The main content area is divided into two columns. The left column has a dark sidebar with a search bar containing 'suturing' and three menu items: 'Task information', 'Task visualisation', and 'Extract workflows'. The right column has a white background and contains the following sections:

- Task Information**: A section with a 'Description' field containing a detailed text description of the suturing task.
- Demonstration**: A video player showing a surgical procedure. Below the video is a small diagram labeled 'POSITIONING NEEDLE'.
- Possible Activities**: A table listing activities with their IDs and descriptions.

id	description
2 G1	reaching for the needle with right hand
3 G2	positioning the tip of the needle
4 G3	pushing needle through the tissue
5 G4	transferring needle from left to right
6 G5	moving to center of workspace with needle in grip
7 G6	pulling suture with left hand
9 G8	orienting needle
10 G9	using right hand to help tighten suture
11 G10	loosening more suture
12 G11	dropping suture and moving to end points

At the bottom of the table, it says 'Showing 1 to 10 of 10 entries' and 'Previous 1 Next'.

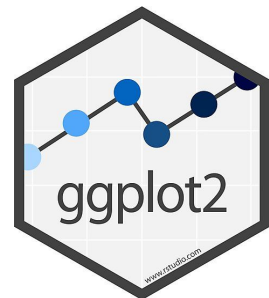
Tecnologías y “Packages” utilizados



igraph R package

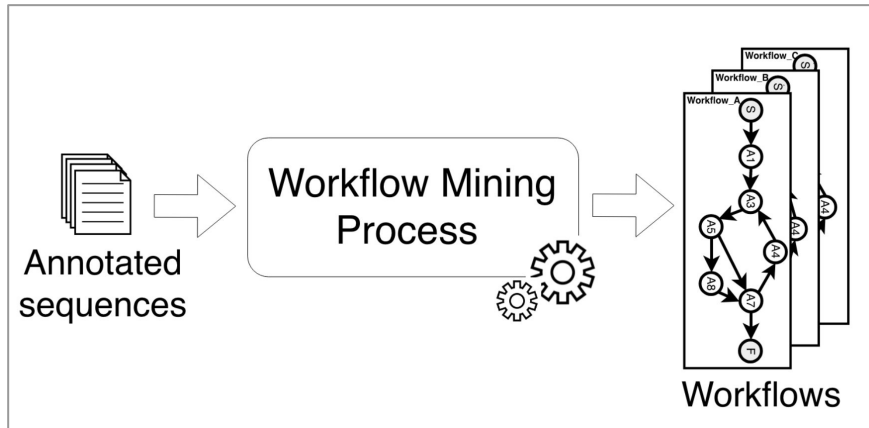


visNetwork



Herramienta desarrollada

Método de minado de workflows



Aplicación web de análisis

The screenshot shows the 'Surgical Workflow Mining' web application interface. It features a sidebar with navigation options: 'Task', 'Task information', 'Task visualisation', and 'Extract workflows'. The main content area displays 'Task Information' for the task 'suturing'. It includes a 'Description' section with a detailed text description of the suturing process and a 'Demonstration' section with a video player showing a surgical procedure. Below the video is a 'Possible Activities' table with 12 entries, each with an ID and a description. The table is paginated to show 1 to 10 of 10 entries.

id	description
2	G1 reaching for the needle with right hand
3	G2 positioning the tip of the needle
4	G3 pushing needle through the tissue
5	G4 transferring needle from left to right
6	G5 moving to center of workspace with needle in grip
7	G6 pulling suture with left hand
9	G8 orienting needle
10	G9 using right hand to help tighten suture
11	G10 loosening more suture
12	G11 dropping suture and moving to end points

A decorative network diagram in the top-left corner, consisting of various sized circles (nodes) connected by thin lines (edges). Some nodes are solid grey, while others are hollow with a grey outline. The connections form a complex, branching structure.

Método de minado de workflows

A decorative network diagram in the bottom-right corner, similar to the one in the top-left, featuring a cluster of interconnected nodes and edges, with some nodes highlighted in solid grey.



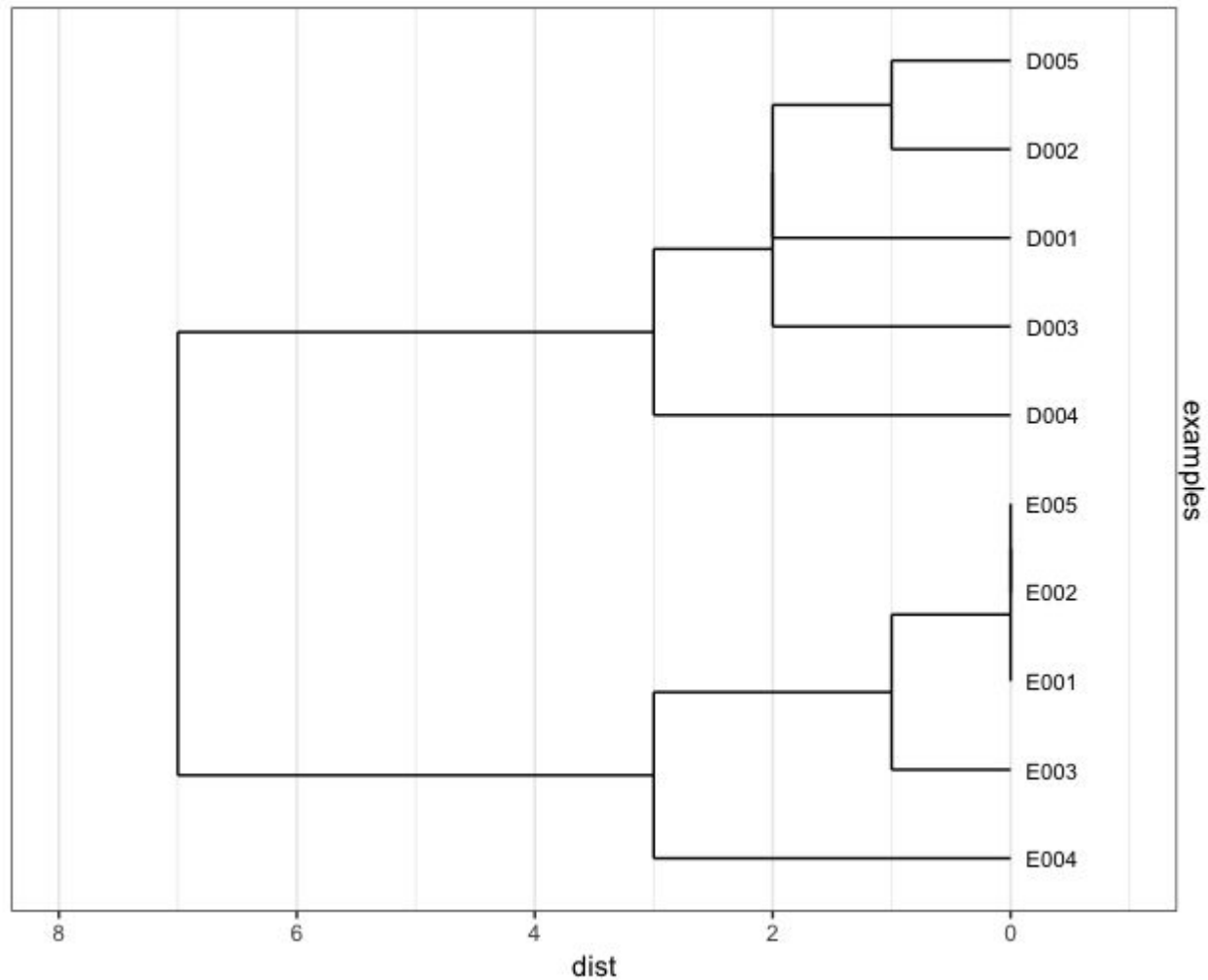
Caso de ejemplo

*Extraer posibles workflows a partir
de los ejemplos de cirujanos
expertos.*

Método de minado de workflows

- ◎ Cálculo distancia de edición entre secuencias.
- ◎ Transformación de secuencias a grafos de actividades.
- ◎ Búsqueda “*Top-down*” de workflows.
 1. Creación de un grafo agregado con los grafos del conjunto.
 2. Filtrado de aristas por popularidad ➡ Workflow candidato.
 3. Si workflow candidato está incluido en algún ejemplo de entrada:
 - a. Retirar ejemplos cubiertos y volver a punto 1. con el resto de ejemplos.
 4. En caso contrario ...
 - a. Subdividir conjunto de ejemplos por similitud.
 - b. Repetir desde a punto 1. por cada subconjunto.

Cálculo distancia de edición entre secuencias (Levenshtein)



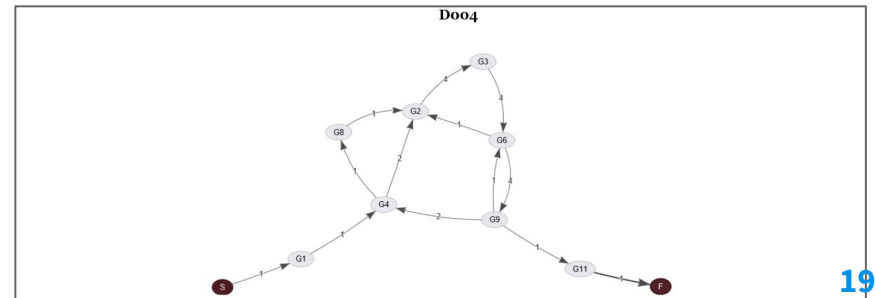
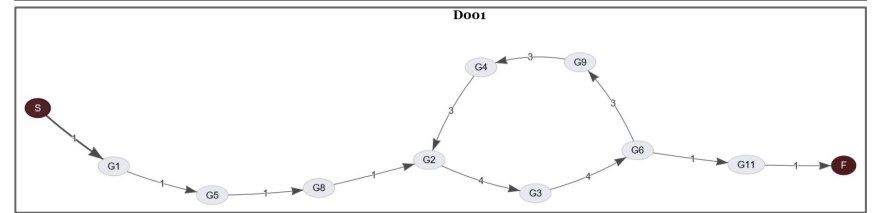
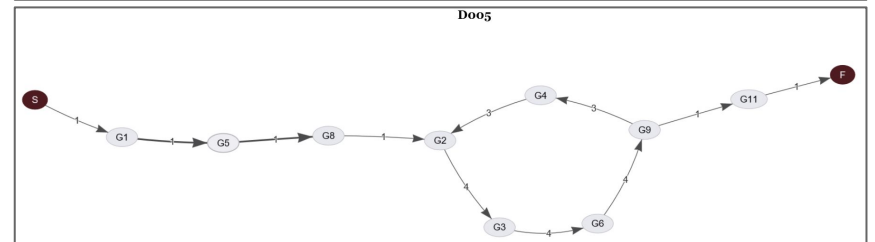
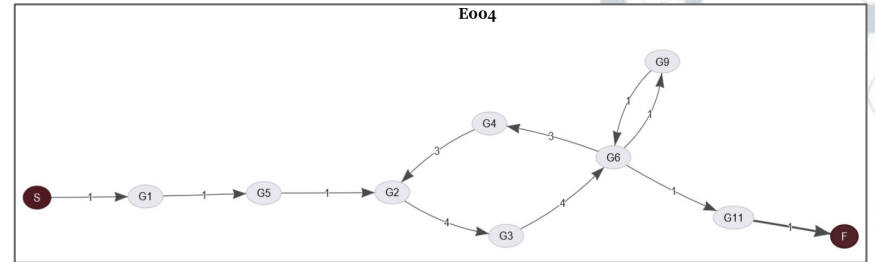
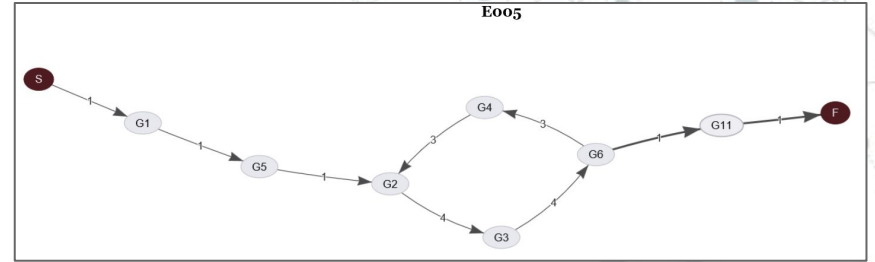
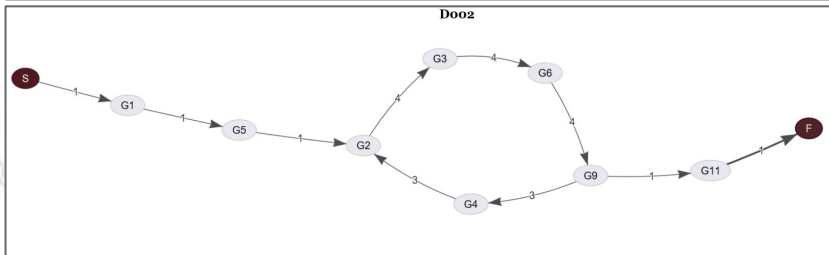
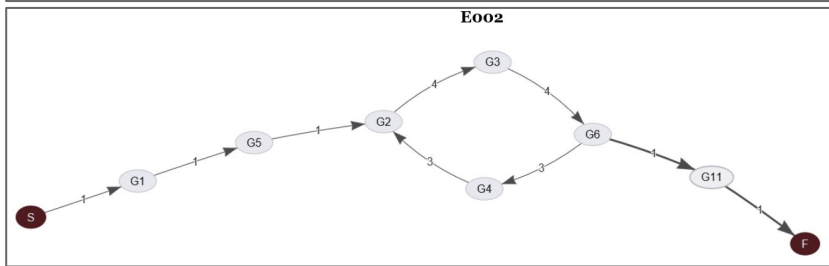
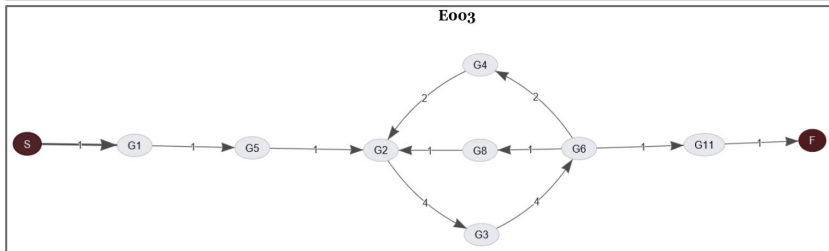
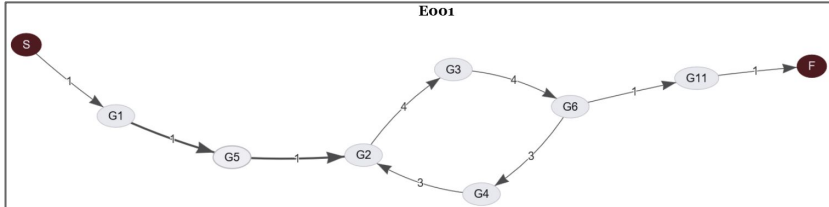
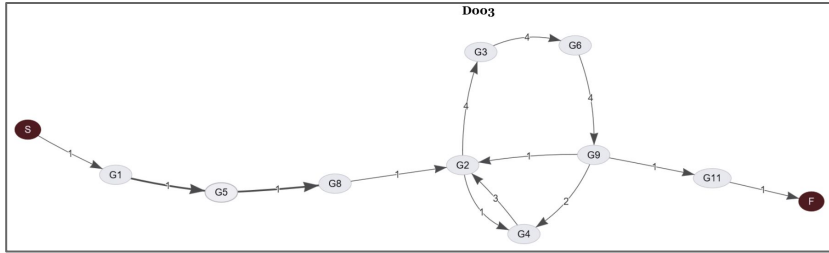
Método de minado de workflows

- ◎ Cálculo distancia de edición entre secuencias.
- ◎ Transformación de secuencias a grafos de actividades.
- ◎ Búsqueda “*Top-down*” de workflows .
 1. Creación de un grafo agregado con los grafos del conjunto.
 2. Filtrado de aristas por popularidad ➡ Workflow candidato.
 3. Si workflow candidato está incluido en algún ejemplo de entrada:
 - a. Retirar ejemplos cubiertos y volver a punto 1. con el resto de ejemplos.
 4. En caso contrario ...
 - a. Subdividir conjunto de ejemplos por similitud.
 - b. Repetir desde a punto 1. por cada subconjunto.

de actividades

S -> G1 -> G5 -> G2 -> G3 -> G6 -> G4 -> G2 -> G3 -> G6 -> G4 -> G2 -> G3 -> G6 -> G4 -> G2 -> G3 -> G6 -> G11 -> F

Ejemplos expertos



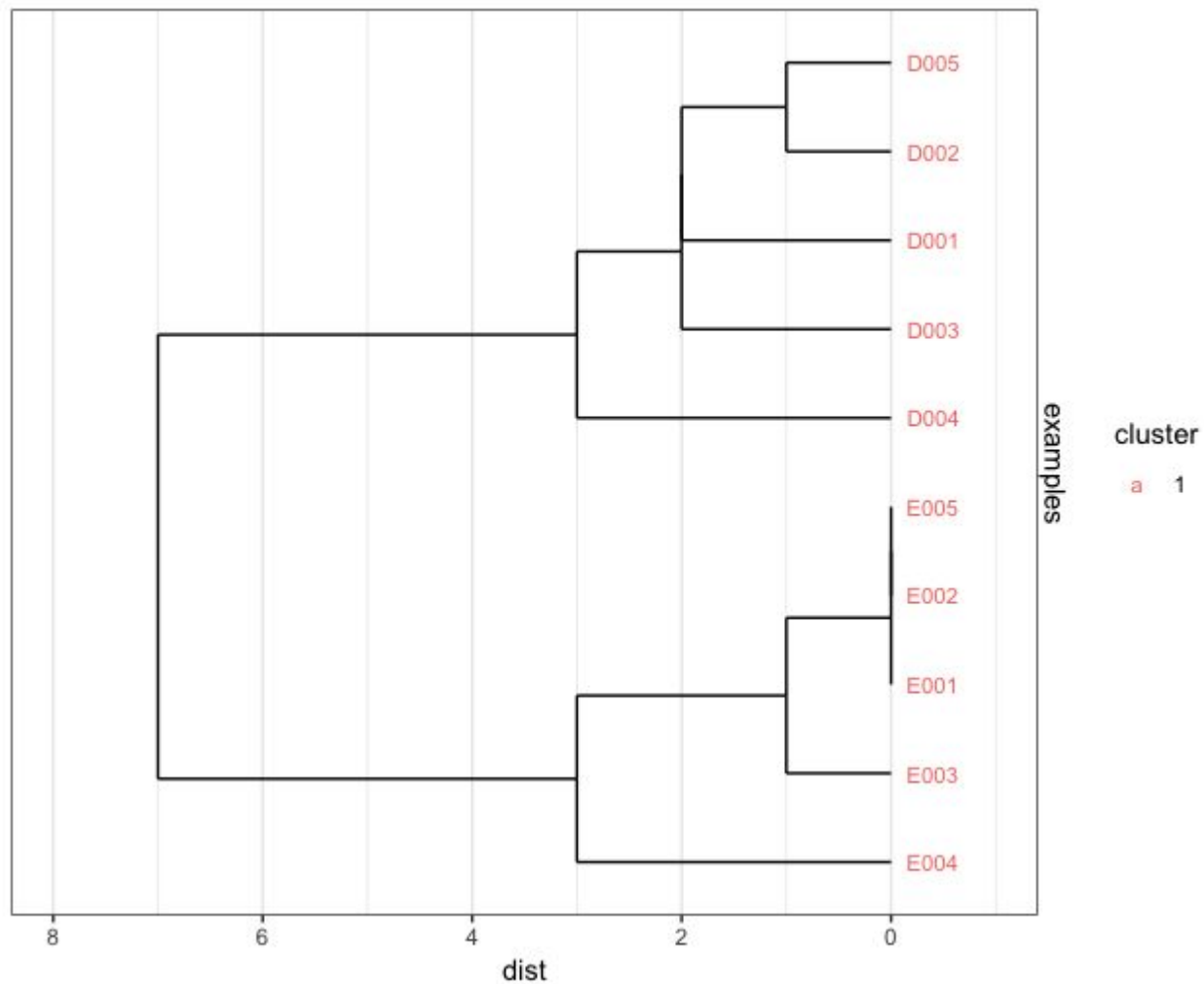
Método de minado de workflows

- ◎ Cálculo distancia de edición entre secuencias.
- ◎ Transformación de secuencias a grafos de actividades.
- ◎ Búsqueda “*Top-down*” de workflows .
 1. Creación de un grafo agregado con los grafos del conjunto.
 2. Filtrado de aristas por popularidad ➡ Workflow candidato.
 3. Si workflow candidato está incluido en algún ejemplo de entrada:
 - a. Retirar ejemplos cubiertos y volver a punto 1. con el resto de ejemplos.
 4. En caso contrario ...
 - a. Subdividir conjunto de ejemplos por similitud.
 - b. Repetir desde a punto 1. por cada subconjunto.

Método de minado de workflows

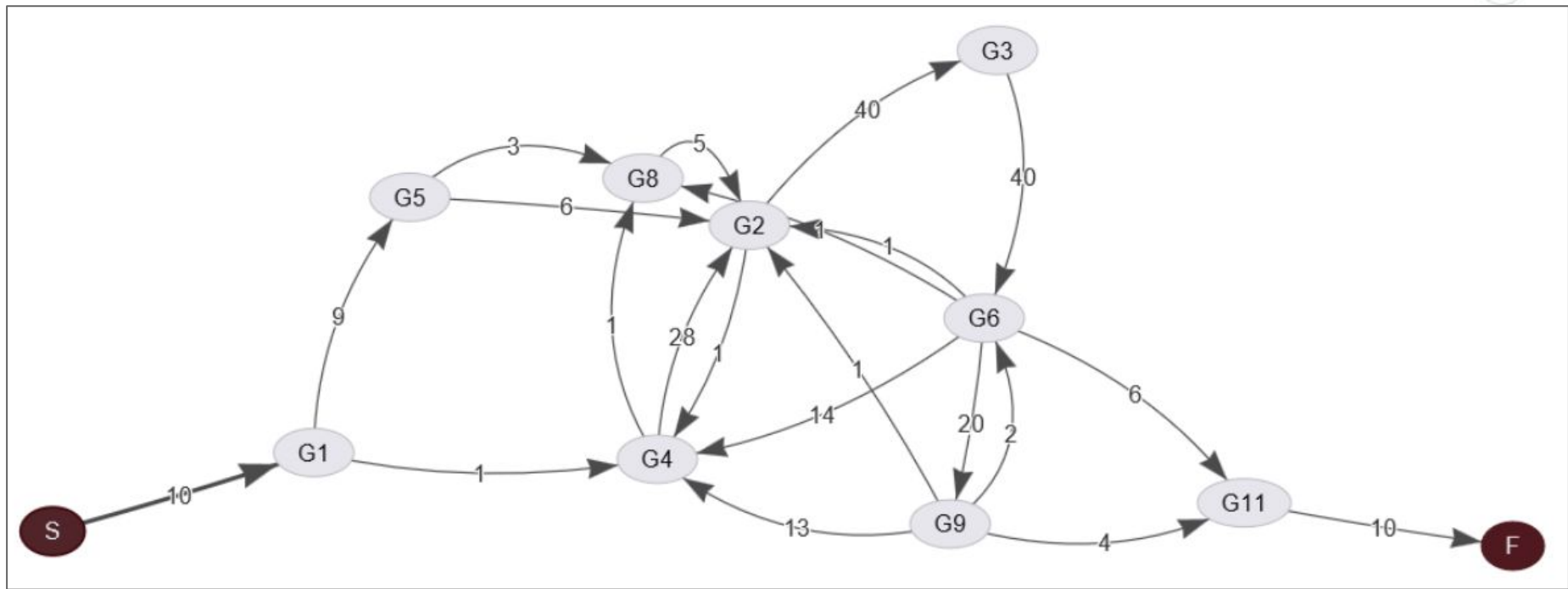
- ◎ Cálculo distancia de edición entre secuencias.
- ◎ Transformación de secuencias a grafos de actividades.
- ◎ Búsqueda “*Top-down*” de workflows .
 1. Creación de un grafo agregado con los grafos del conjunto.
 2. Filtrado de aristas por popularidad ➡ Workflow candidato.
 3. Si workflow candidato está incluido en algún ejemplo de entrada:
 - a. Retirar ejemplos cubiertos y volver a punto 1. con el resto de ejemplos.
 4. En caso contrario ...
 - a. Subdividir conjunto de ejemplos por similitud.
 - b. Repetir desde a punto 1. por cada subconjunto.

Creación de un grafo agregado con los grafos del conjunto



Creación de un grafo agregado con los grafos del conjunto

Grafo agregado

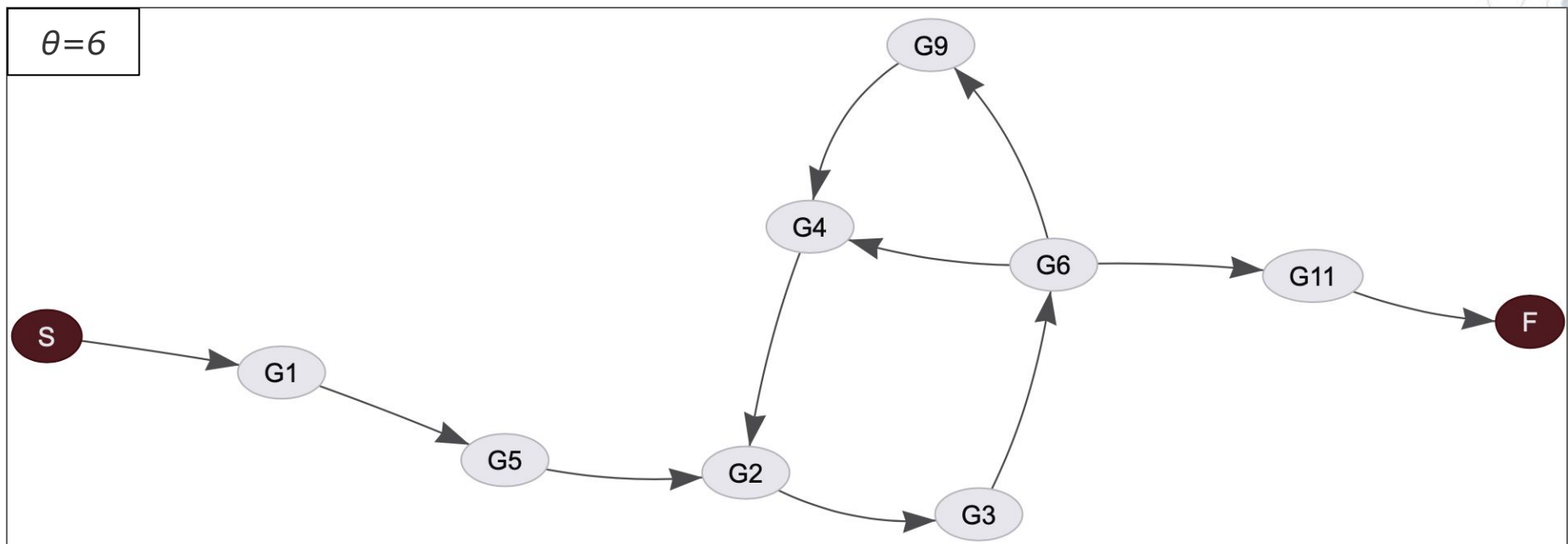


Método de minado de workflows

- ◎ Cálculo distancia de edición entre secuencias.
- ◎ Transformación de secuencias a grafos de actividades.
- ◎ Búsqueda “*Top-down*” de workflows .
 1. Creación de un grafo agregado con los grafos del conjunto.
 2. Filtrado de aristas por popularidad ➡ Workflow candidato.
 3. Si workflow candidato está incluido en algún ejemplo de entrada:
 - a. Retirar ejemplos cubiertos y volver a punto 1. con el resto de ejemplos.
 4. En caso contrario ...
 - a. Subdividir conjunto de ejemplos por similitud.
 - b. Repetir desde a punto 1. por cada subconjunto.

Filtrado de aristas por popularidad

Workflow candidato



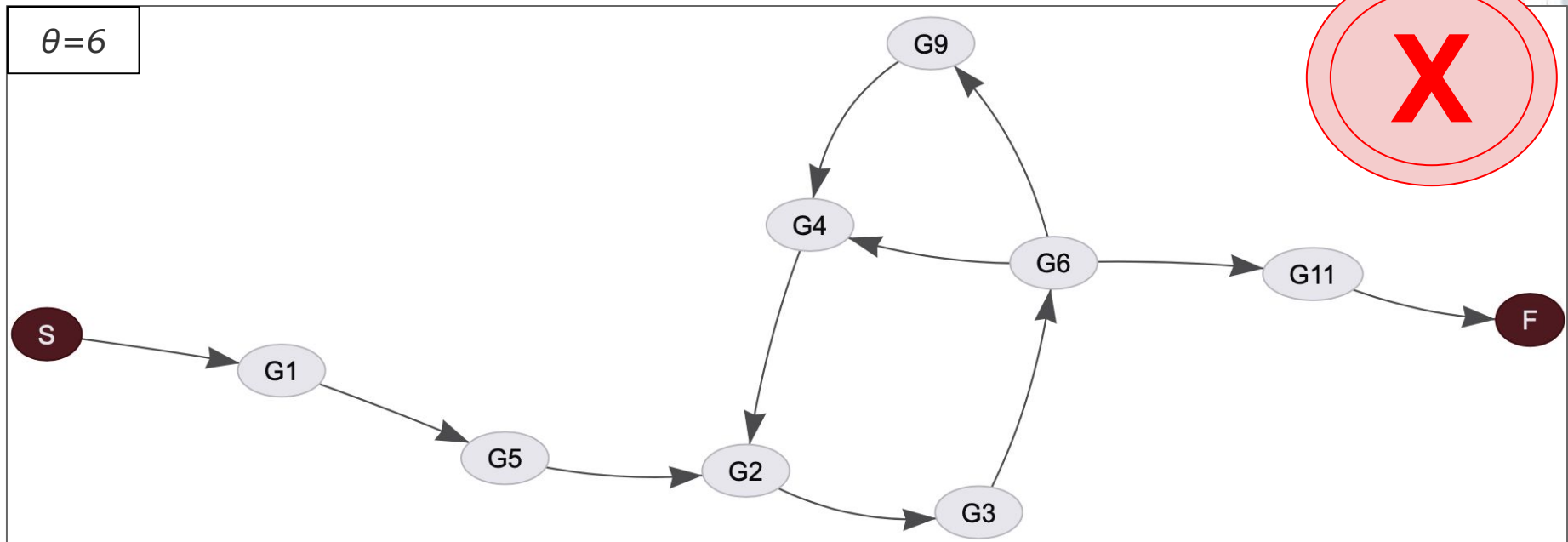
Definition 3.2. (VALIDITY). Given an activity graph $G = (V, E)$, we say that G is valid if $V_S = V_F$, where $V_S = \{v_i \in V \mid v_i \neq v_S \wedge \exists w(v_S, v_i)\}$ and $V_F = \{v_i \in V \mid v_i \neq v_F \wedge \exists w(v_i, v_F)\}$.

Método de minado de workflows

- ◎ Cálculo distancia de edición entre secuencias.
- ◎ Transformación de secuencias a grafos de actividades.
- ◎ Búsqueda “*Top-down*” de workflows .
 1. Creación de un grafo agregado con los grafos del conjunto.
 2. Filtrado de aristas por popularidad ➡ Workflow candidato.
 3. Si workflow candidato está incluido en algún ejemplo de entrada:
 - a. Retirar ejemplos cubiertos y volver a punto 1. con el resto de ejemplos.
 4. En caso contrario ...
 - a. Subdividir conjunto de ejemplos por similitud.
 - b. Repetir desde a punto 1. por cada subconjunto.

¿El workflow candidato “cubre” algún ejemplo?

Workflow candidato



No está completamente incluido en ningún ejemplo.

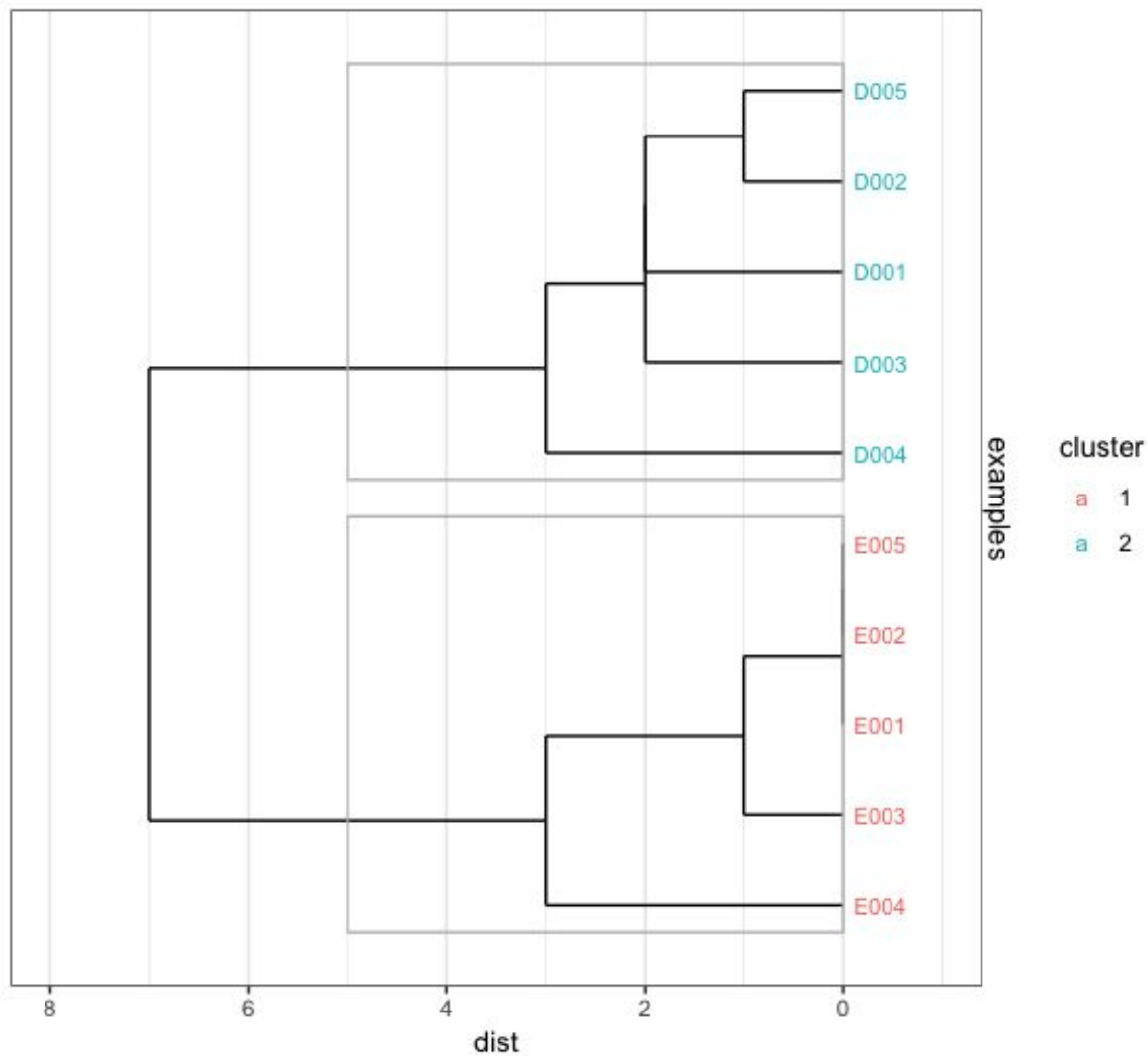
Método de minado de workflows

- ◎ Cálculo distancia de edición entre secuencias.
- ◎ Transformación de secuencias a grafos de actividades.
- ◎ Búsqueda “*Top-down*” de workflows .
 1. Creación de un grafo agregado con los grafos del conjunto.
 2. Filtrado de aristas por popularidad ➡ Workflow candidato.
 3. Si workflow candidato está incluido en algún ejemplo de entrada:
 - a. Retirar ejemplos cubiertos y volver a punto 1. con el resto de ejemplos.
 4. En caso contrario ...
 - a. Subdividir conjunto de ejemplos por similitud.
 - b. Repetir desde a punto 1. por cada subconjunto.

Método de minado de workflows

- ◎ Cálculo distancia de edición entre secuencias.
- ◎ Transformación de secuencias a grafos de actividades.
- ◎ Búsqueda “*Top-down*” de workflows .
 1. Creación de un grafo agregado con los grafos del conjunto.
 2. Filtrado de aristas por popularidad ➡ Workflow candidato.
 3. Si workflow candidato está incluido en algún ejemplo de entrada:
 - a. Retirar ejemplos cubiertos y volver a punto 1. con el resto de ejemplos.
 4. En caso contrario ...
 - a. Subdividir conjunto de ejemplos por similitud.
 - b. Repetir desde a punto 1. por cada subconjunto.

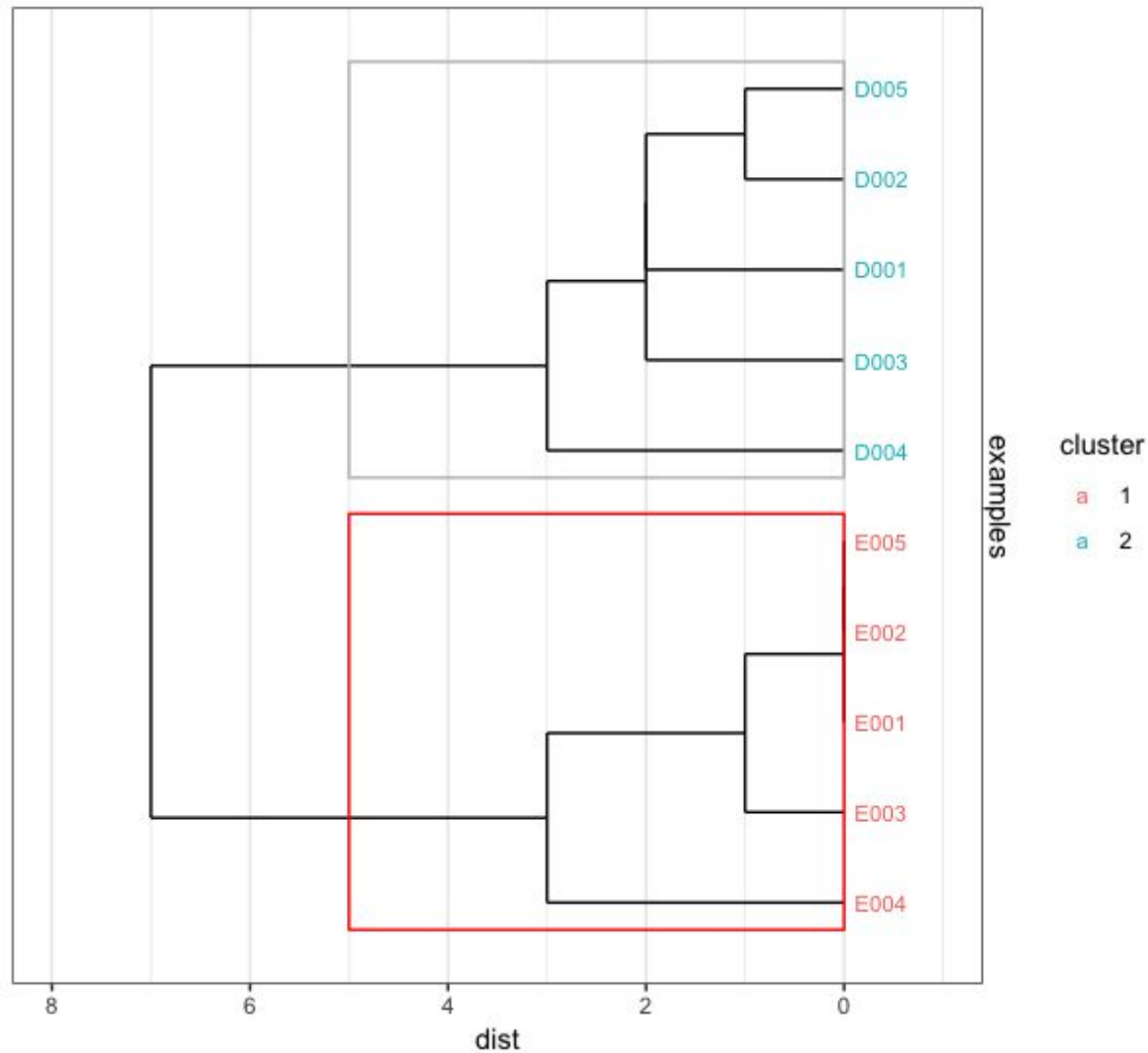
Subdividir conjunto de ejemplos por similitud



Método de minado de workflows

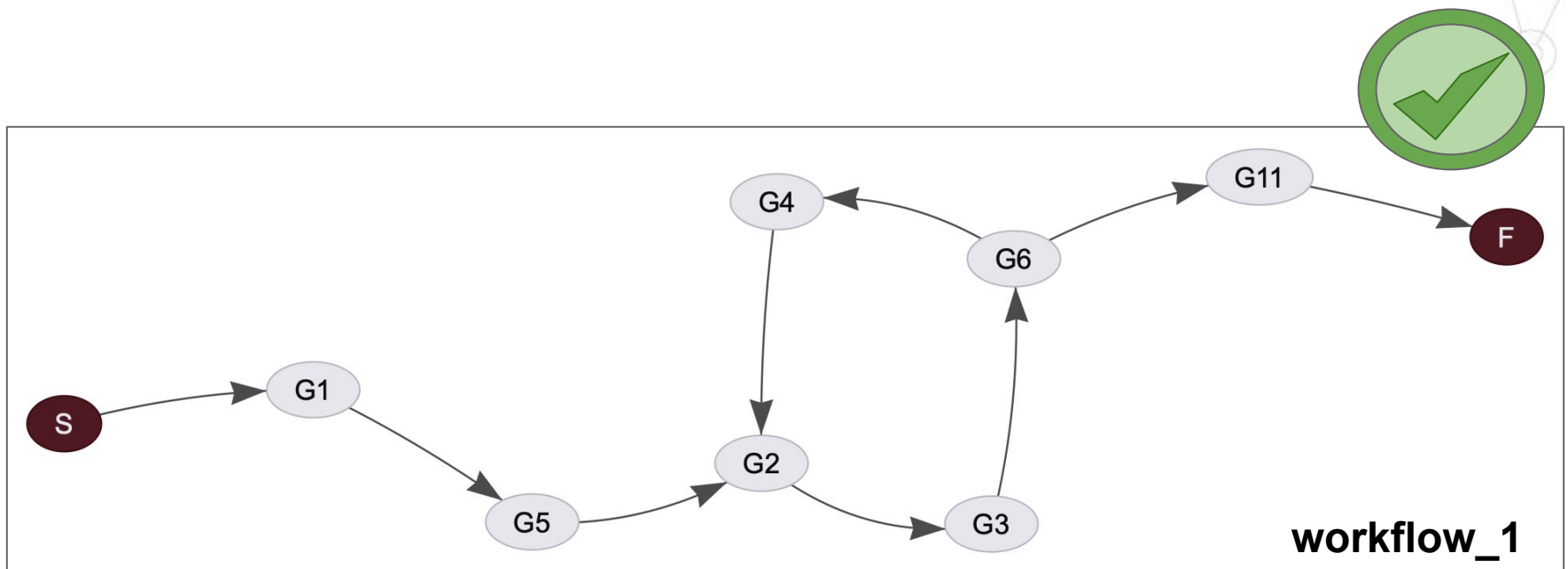
- ◎ Cálculo distancia de edición entre secuencias.
- ◎ Transformación de secuencias a grafos de actividades.
- ◎ Búsqueda “*Top-down*” de workflows .
 1. Creación de un grafo agregado con los grafos del conjunto.
 2. Filtrado de aristas por popularidad ➡ Workflow candidato.
 3. Si workflow candidato está incluido en algún ejemplo de entrada:
 - a. Retirar ejemplos cubiertos y volver a punto 1. con el resto de ejemplos.
 4. En caso contrario ...
 - a. Subdividir conjunto de ejemplos por similaridad.
 - b. Repetir desde a punto 1. por cada subconjunto.

Repetir proceso de búsqueda de workflow por subconjunto



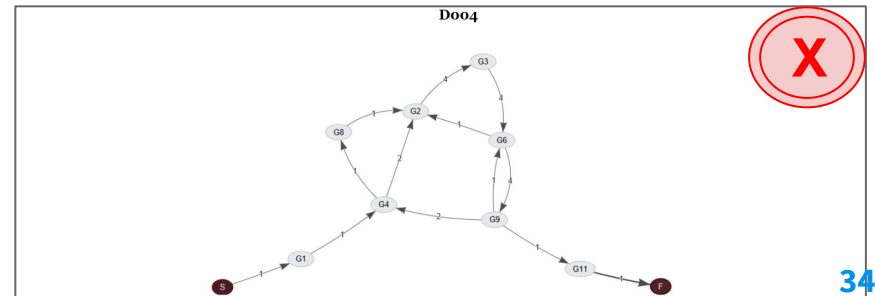
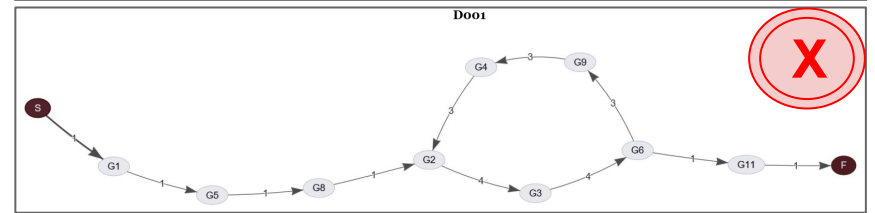
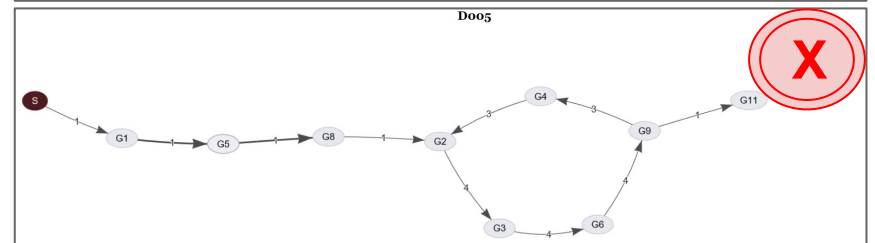
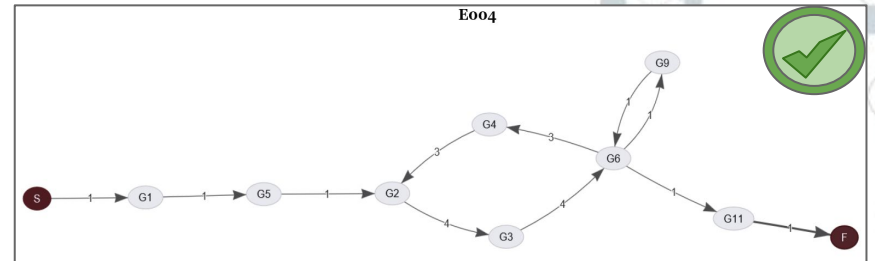
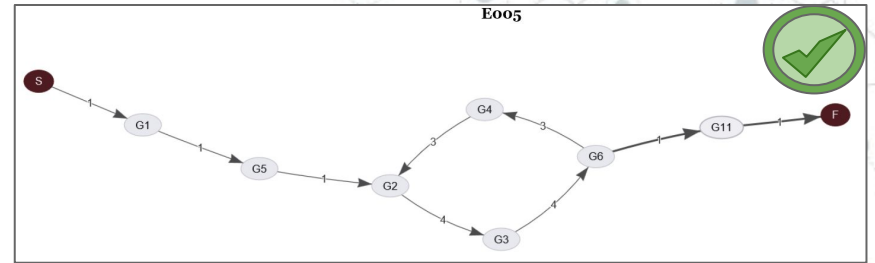
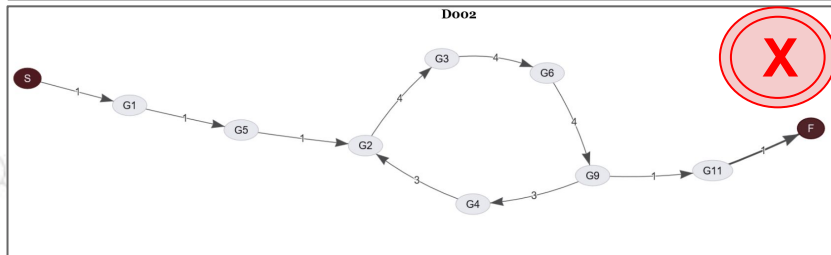
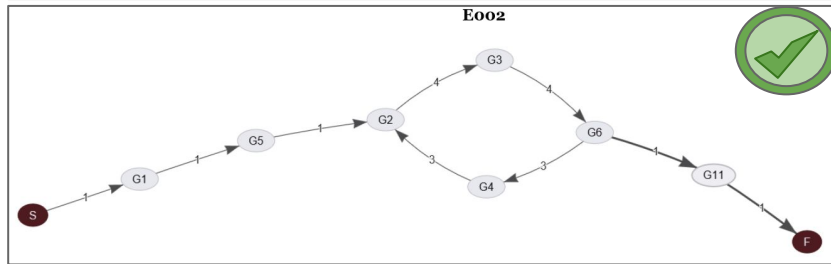
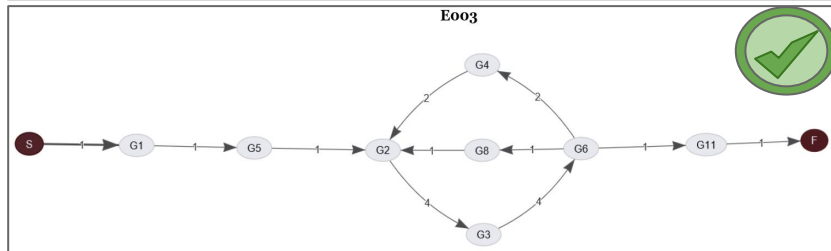
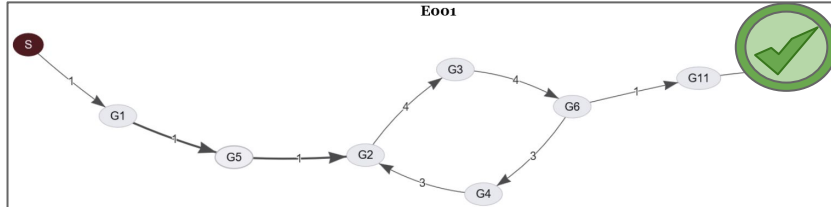
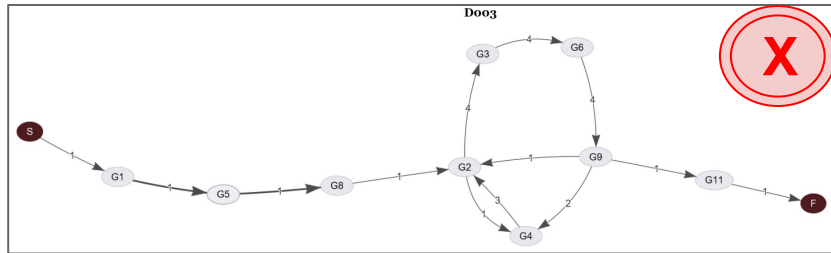
¿El workflow candidato “cubre” algún ejemplo?

Workflow candidato

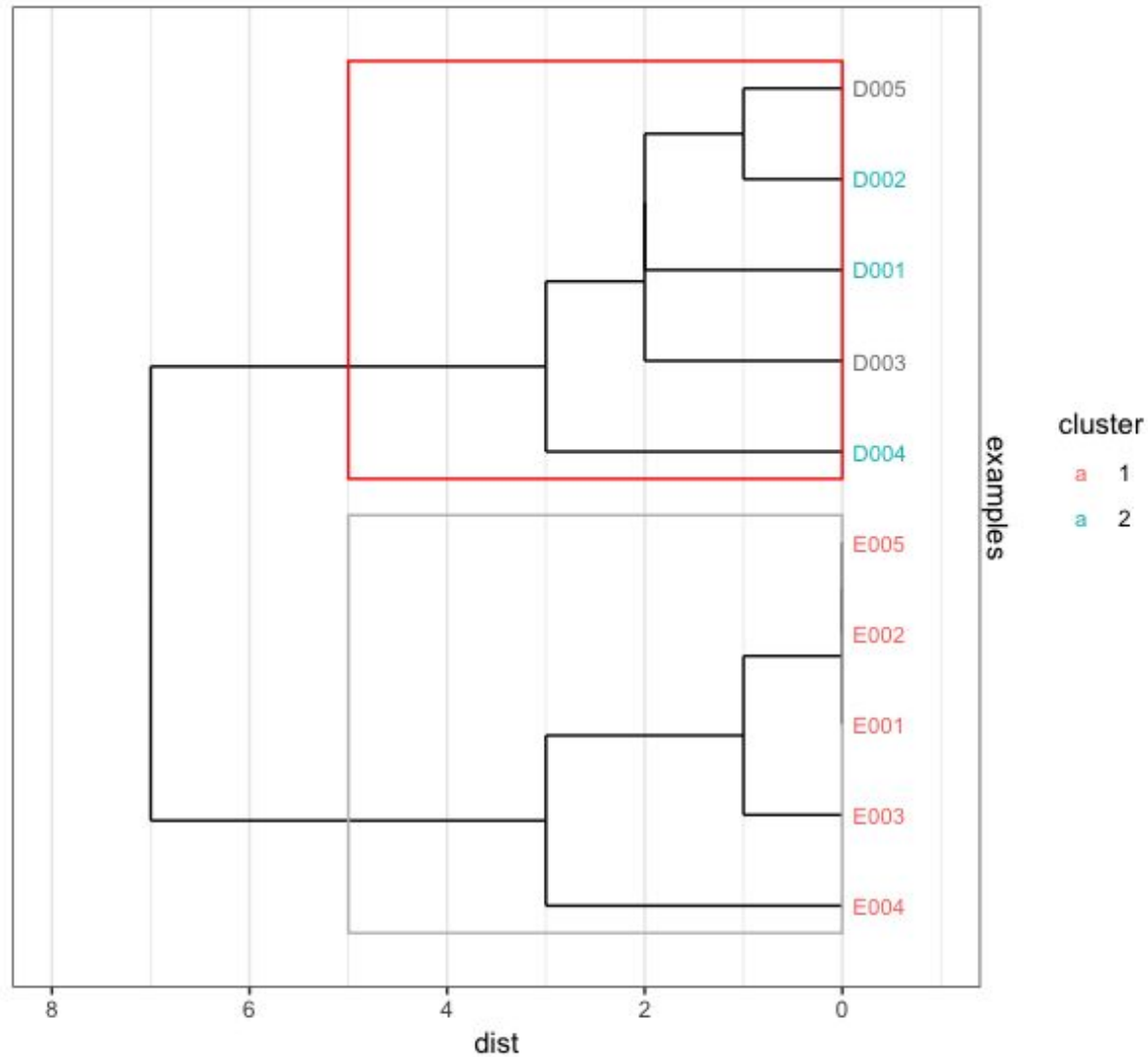


Está completamente incluido en algún ejemplo.

Ejemplos expertos

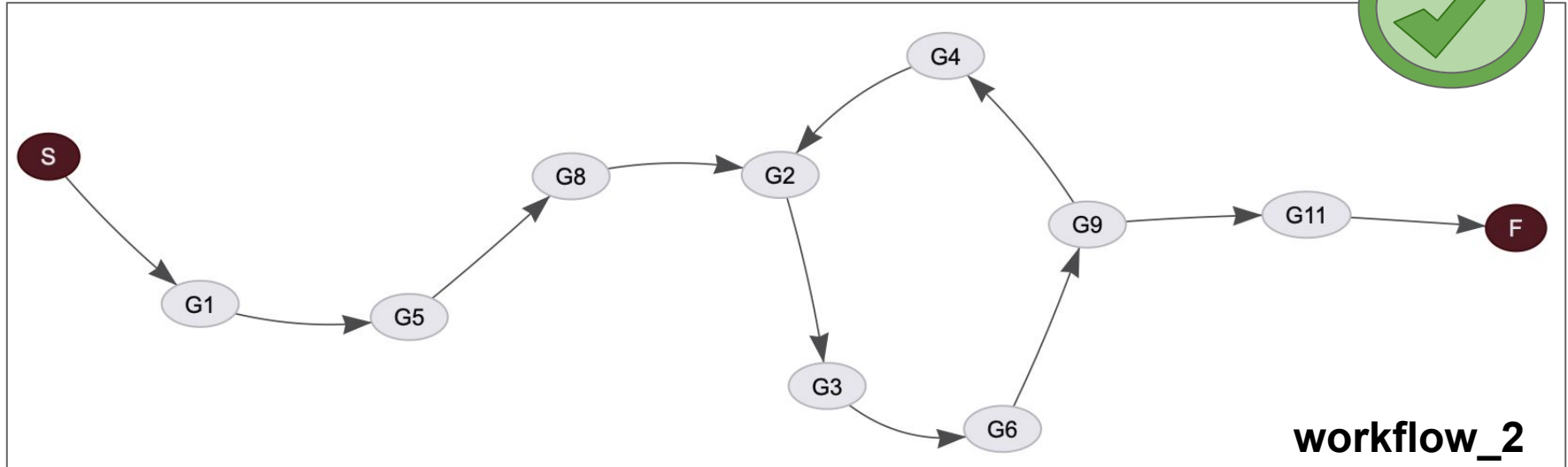


Repetir proceso de búsqueda de workflow por subconjunto



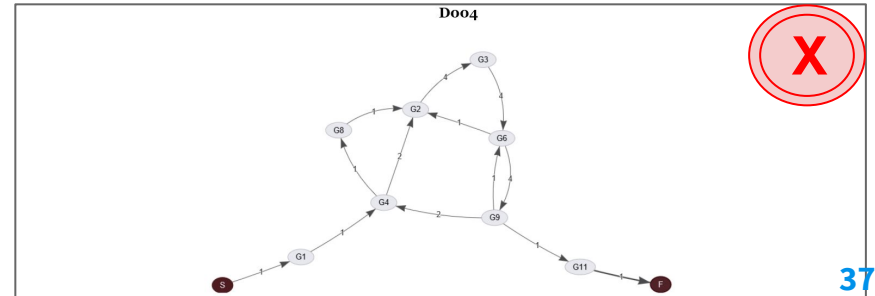
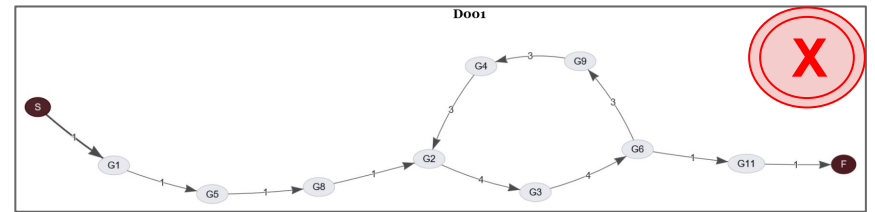
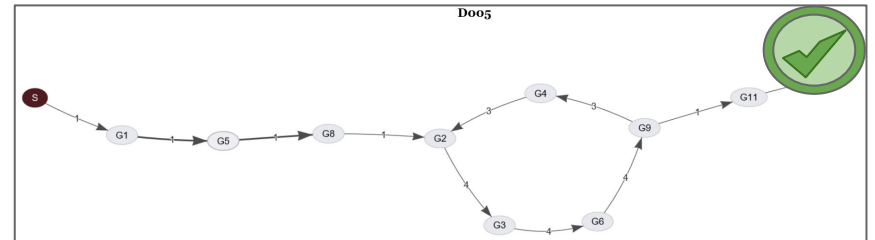
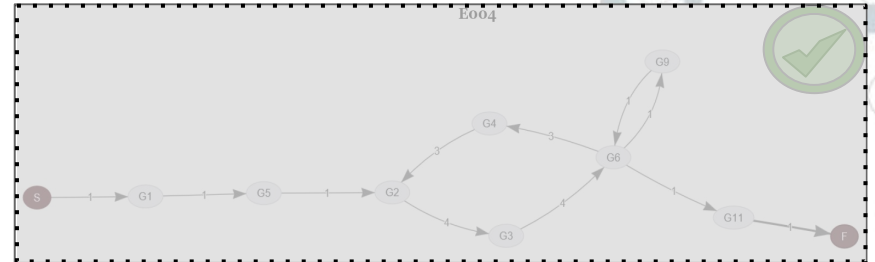
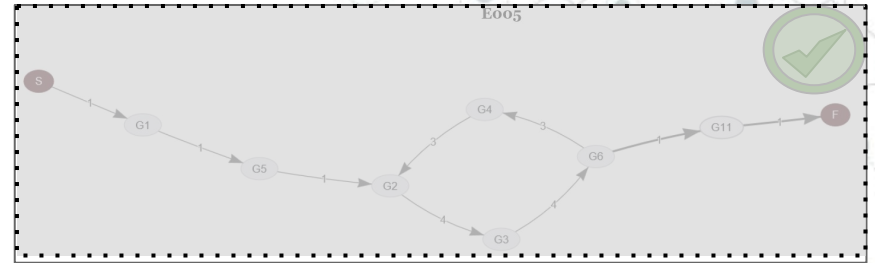
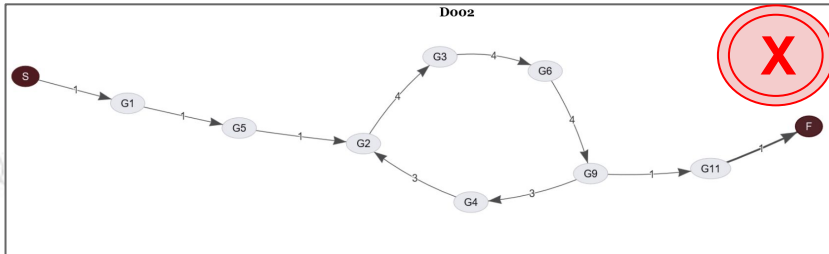
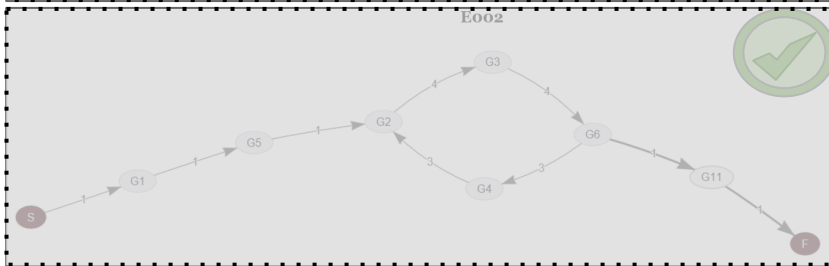
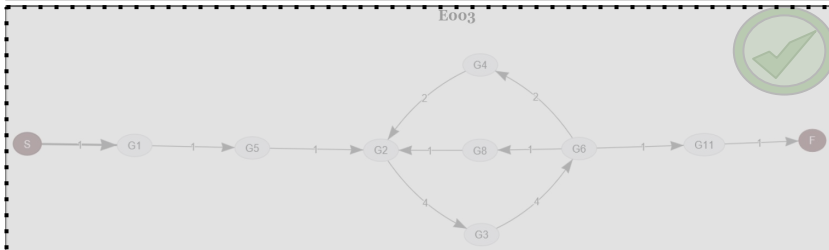
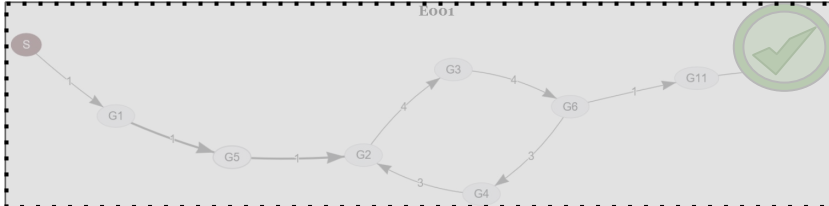
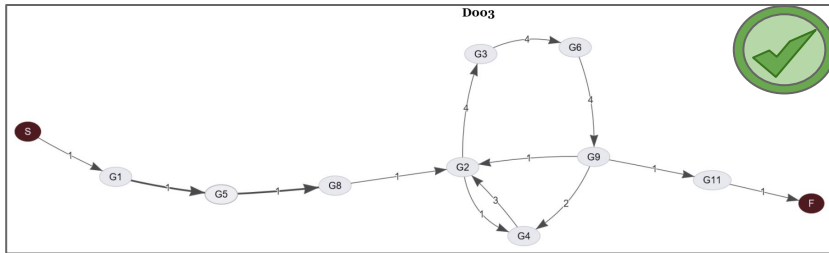
¿El workflow candidato “cubre” algún ejemplo?

Workflow candidato



Está completamente incluido en algún ejemplo.

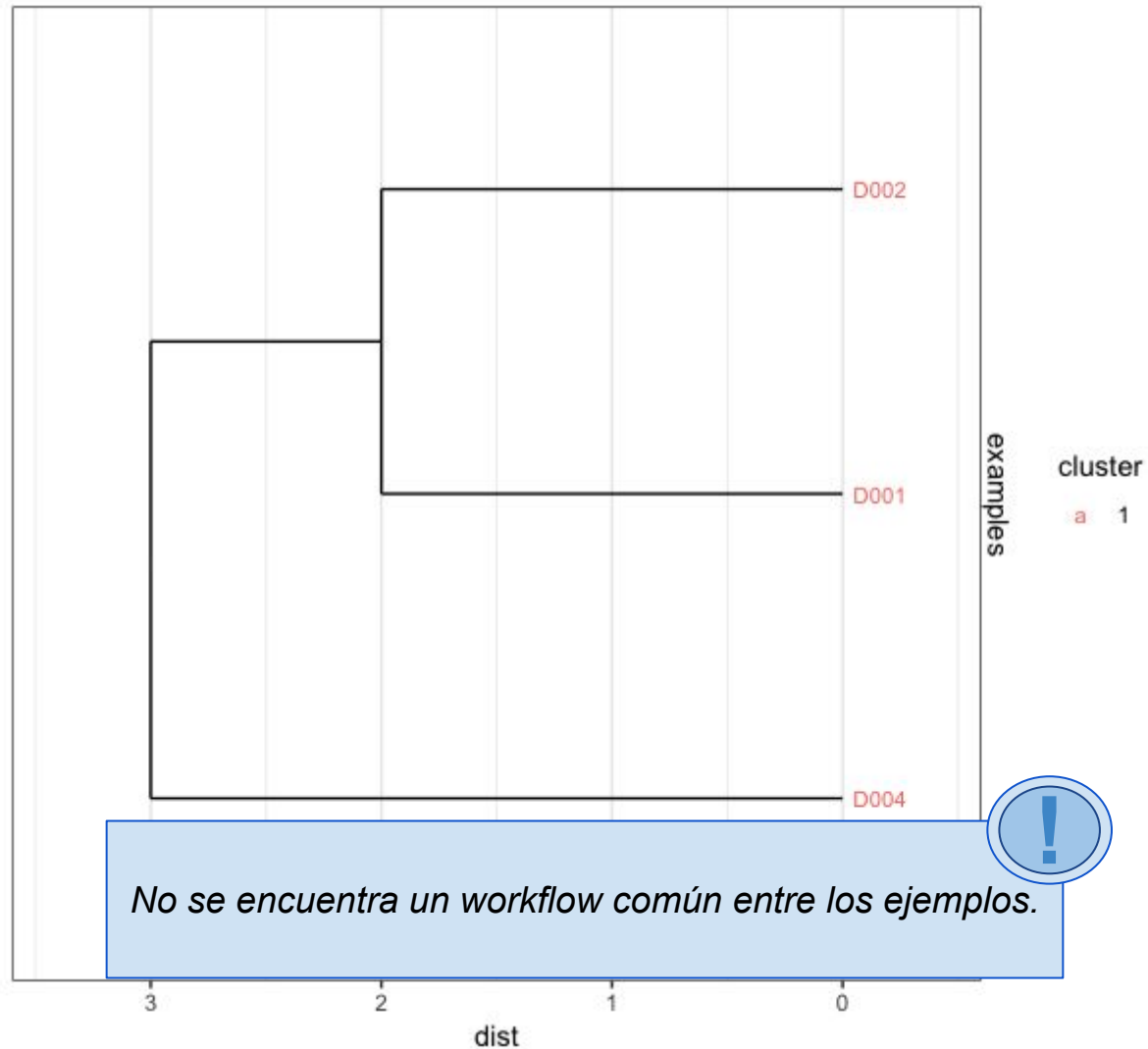
Ejemplos expertos



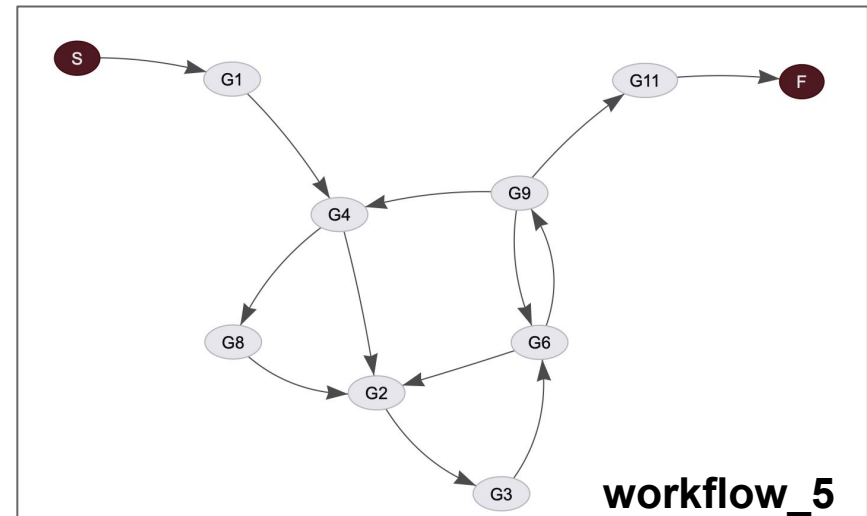
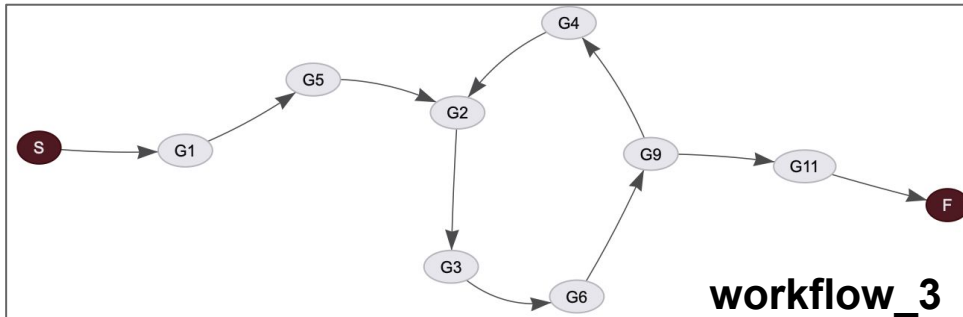
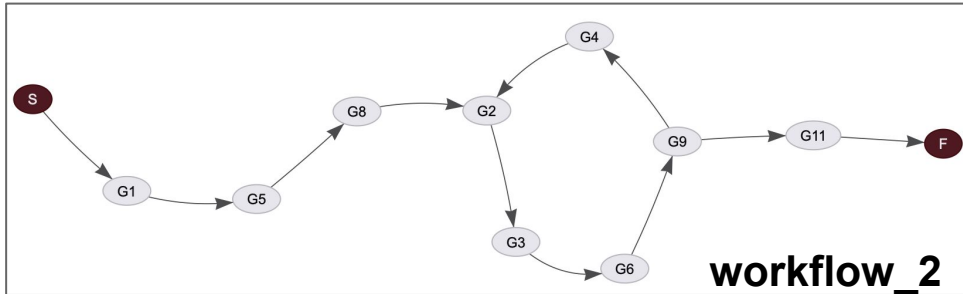
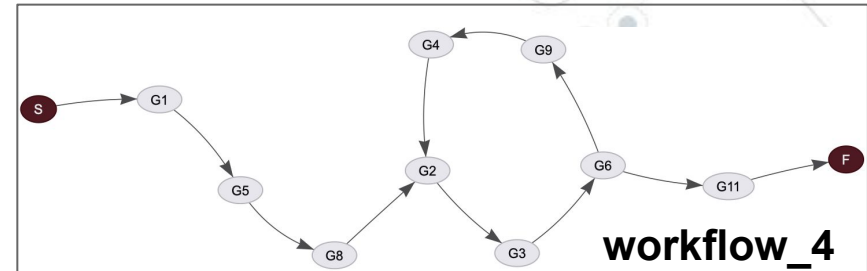
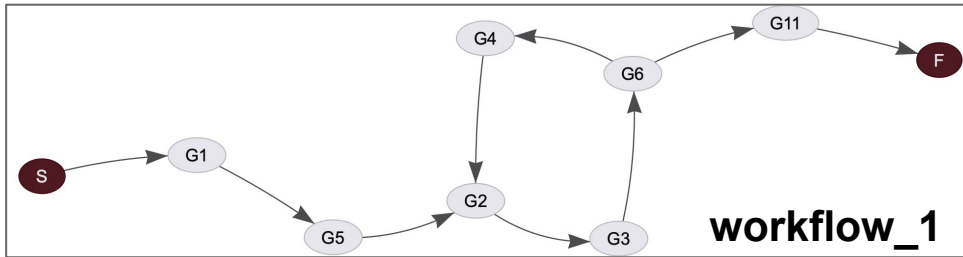
Método de minado de workflows

- ◎ Cálculo distancia de edición entre secuencias.
- ◎ Transformación de secuencias a grafos de actividades.
- ◎ Búsqueda “*Top-down*” de workflows .
 1. Creación de un grafo agregado con los grafos del conjunto.
 2. Filtrado de aristas por popularidad ➡ Workflow candidato.
 3. Si workflow candidato está incluido en algún ejemplo de entrada:
 - a. Retirar ejemplos cubiertos y volver a punto 1. con el resto de ejemplos.
 4. En caso contrario ...
 - a. Subdividir conjunto de ejemplos por similitud.
 - b. Repetir desde a punto 1. por cada subconjunto.

Retirar ejemplos cubiertos y repetir proceso



Workflows minados



Resultados preliminares

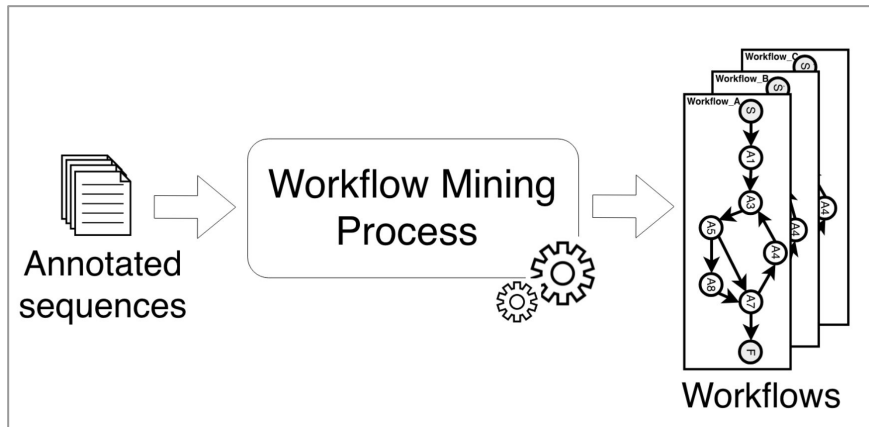
- ◎ Se ha logrado una abstracción de “variantes populares” en ejemplos que a priori no lo mostraban.
- ◎ Algunos expertos presentan formas “peculiares”.
 - Aparentemente, sesgados por cierto “estilo”.
 - Sorprendentemente, tienen puntuaciones bajas.
 - También presentan más actividades y transiciones que otros mejor puntuados.
- ◎ A pesar de lo anterior, el método permite abstraer workflows del exceso de transiciones que puedan presentar los ejemplos.

A decorative background featuring a network diagram with nodes and connecting lines, primarily located in the top-left and bottom-right corners. The nodes are represented by circles of varying sizes, some with concentric rings, and the lines are thin and grey.

Aplicación web de análisis

Herramienta desarrollada

Método de minado de workflows



Aplicación web de análisis

The screenshot shows the 'Surgical Workflow Mining' web application interface. It includes a sidebar with navigation options: Task, Task information, Trial visualisation, and Extract workflows. The main content area displays 'Task Information' for the task 'suturing'. It includes a 'Description' of the suturing process and a 'Demonstration' video showing a surgical procedure. Below the video is a 'Possible Activities' table with 12 entries, each with an ID and a description. The table is paginated to show 1 to 10 of 10 entries.

id	description
2 G1	reaching for the needle with right hand
3 G2	positioning the tip of the needle
4 G3	pushing needle through the tissue
5 G4	transferring needle from left to right
6 G5	moving to center of workspace with needle in grip
7 G6	pulling suture with left hand
9 G8	orienting needle
10 G9	using right hand to help tighten suture
11 G10	loosening more suture
12 G11	dropping suture and moving to end points

Aplicación web interactiva con Shiny

Selección de la tarea

Información de la tarea

Surgical Workflow Mining

Task

suturing

Task information

Trial visualisation

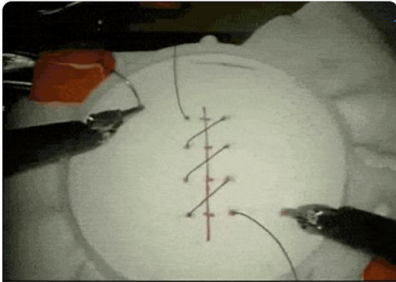
Extract workflows

Task Information

Description

Suturing (SU): The subject picks up needle, proceeds to the incision (designated as a vertical line on the bench-top model), and passes the needle through the "tissue", entering at the dot marked on one side of the incision and exiting at the corresponding dot marked on the other side of the incision. After the first needle pass, the subject extracts the needle out of the tissue, passes it to the right hand and repeats the needle pass three more times.

Demonstration



Possible Activities

Show 10 entries

	id	description
2	G1	reaching for the needle with right hand
3	G2	positioning the tip of the needle
4	G3	pushing needle through the tissue
5	G4	transferring needle from left to right
6	G5	moving to center of workspace with needle in grip
7	G6	pulling suture with left hand
9	G8	orienting needle
10	G9	using right hand to help tighten suture
11	G10	loosening more suture
12	G11	dropping suture and moving to end points

Showing 1 to 10 of 10 entries

Previous 1 Next

JIGSAWS dataset citation

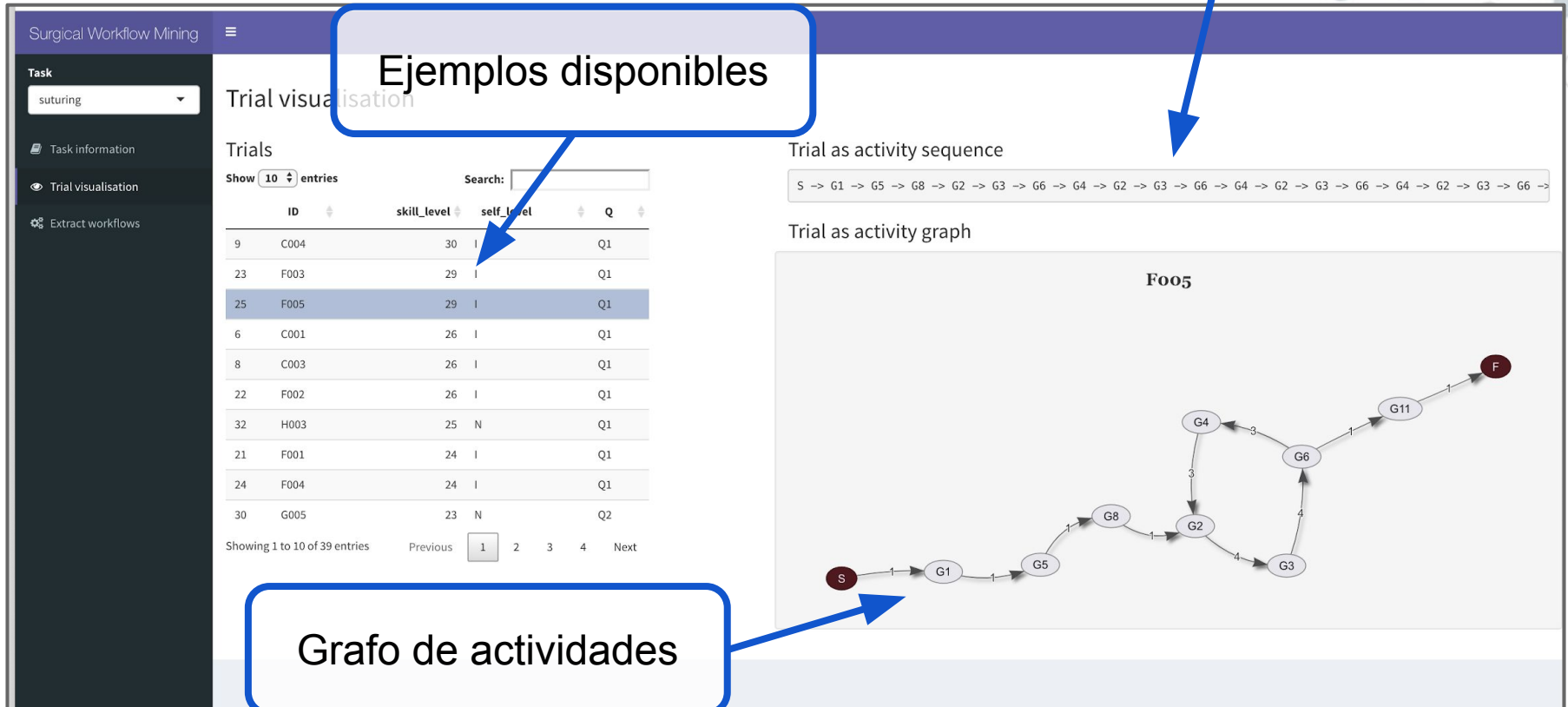
Yixin Gao, S. Swaroop Vedula, Carol E. Reiley, Narges Ahmadi, Balakrishnan Varadarajan, Henry C. Lin, Lingling Tao, Luca Zappella, Benjamín Béjar, David D. Yuh, Chi Chung Grace Chen, René Vidal, Sanjeev Khudanpur and Gregory D. Hager, The JHU-ISI Gesture and Skill Assessment Working Set (JIGSAWS): A Surgical Activity Dataset for Human Motion Modeling, In Modeling and Monitoring of Computer Assisted Interventions (M2CAI) ??? MICCAI Workshop, 2014.

Aplicación web interactiva con Shiny

Secuencia original

Ejemplos disponibles

Grafo de actividades



Aplicación web interactiva con Shiny

Grafo de actividades del workflow

Selección de ejemplos

Selection

Trials

Show 10 entries Search: E

ID	skill_level	self_level	Q	
17	E002	20	E	Q2
18	E003	19	E	Q3
19	E004	19	E	Q3
20	E005	19	E	Q3
12	D002	18	E	Q3
16	E001	17	E	Q3
15	D005	15	E	Q3
11	D001	14	E	Q4
13	D003	14	E	Q4
14	D004	8	E	Q4

Showing 1 to 10 of 10 entries (filter: E)

Selección de ejemplos

Show 10 entries Search:

ID	skill_level	self_level	Q	
17	E002	20	E	Q2
18	E003	19	E	Q3
20	E005	19	E	Q3
16	E001	17	E	Q3
15	D005	15	E	Q3
13	D003	14	E	Q4

Showing 1 to 6 of 6 entries

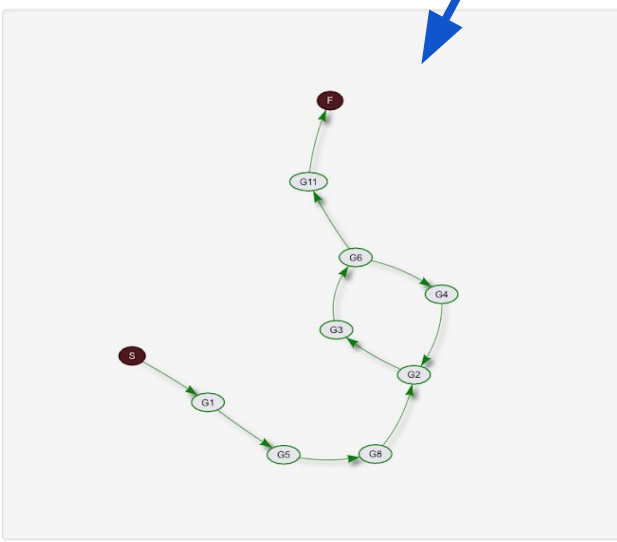
Previous 1 Next

Extract workflows

Extraer workflows

Extraer workflows

Workflow activity graph



Mined workflows

Show 10 entries

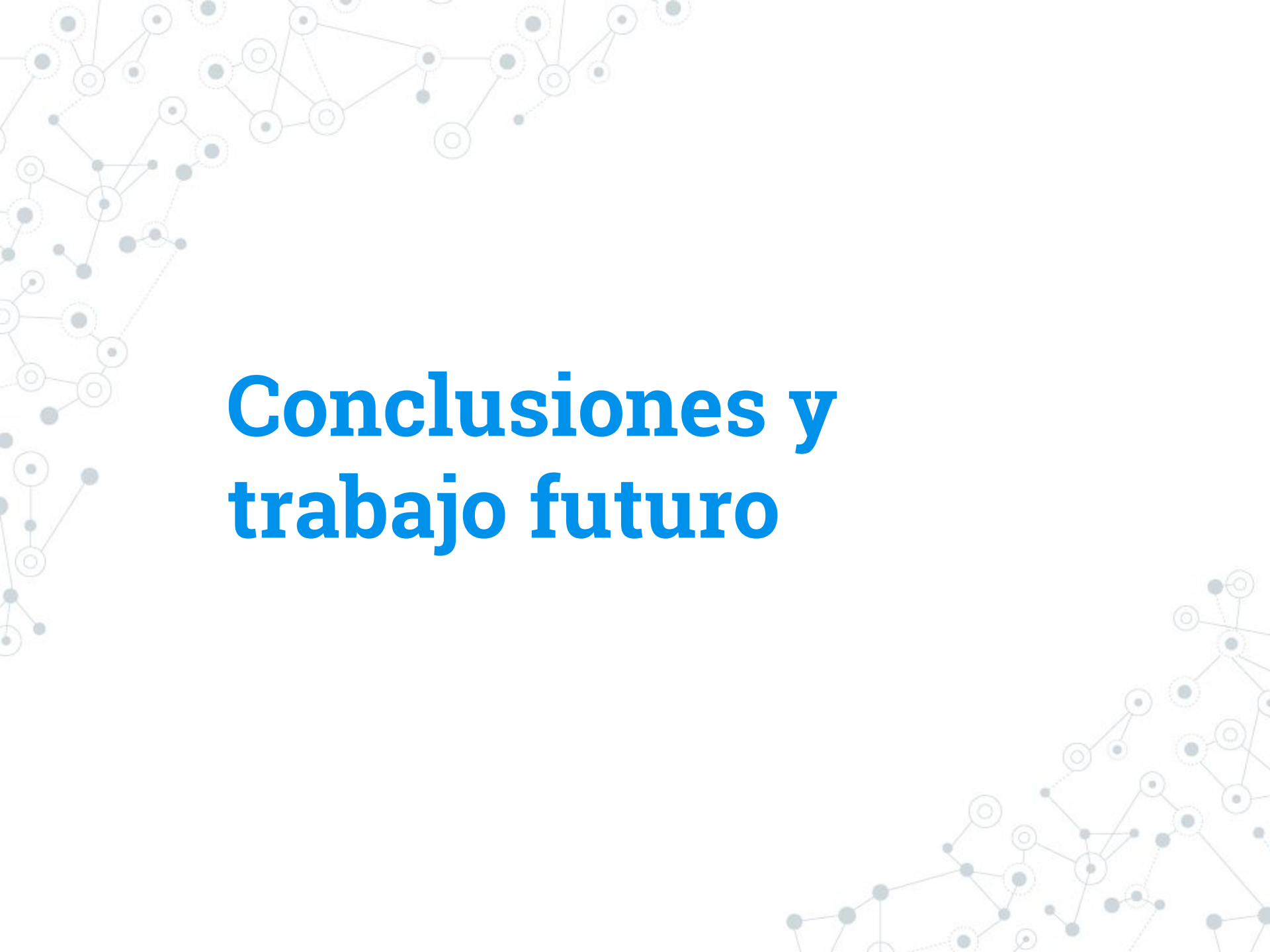
	category	threshold	max_weight	num_vertices	num_edges
workflow_A	A	6	40	10	11
workflow_B	B	3	24		12
workflow_C	C	1	16	11	18

Showing 1 to 3 of 3 entries

Previous 1 Next

Workflow extraídos

<https://safe-tools.dsic.upv.es/shiny/SurgicalWorkflowMining/>

A decorative background featuring a network diagram. It consists of numerous circular nodes of varying sizes, some solid and some hollow, connected by thin, light gray lines. These nodes and lines are scattered across the page, with a higher concentration in the top-left and bottom-right corners, leaving the center area where the text is located relatively clear.

Conclusiones y trabajo futuro

Conclusiones

- ◎ Desarrollo de una herramienta novel de análisis y minado de workflows basado en grafos.
 - Aplicado sobre el dataset de ejercicios de laparoscopia JIGSAWS.
 - Uso de diferentes paquetes de R para implementar el método y la aplicación web interactiva.
- ◎ Primeros resultados son positivos.
 - Se consiguen filtrar actividades y transiciones poco frecuentes (dificultan identificación del workflow general).
 - Se capturan distintas formas de la tarea subyacentes en los ejemplos de entrada a pesar de la diversidad de variantes.

Conclusiones

- ◎ Pero trabajo todavía en etapa temprana y con limitaciones:
 - ¿Qué sucede con la información descriptiva de la tarea que se pierde en el proceso (e.g., número de iteraciones de ciclos)?
 - Comprobación de la cobertura a nivel local de subconjunto, no transversal a ellos.
 - ¿Cómo medir la calidad de los resultados obtenidos?

Trabajo futuro

- ◎ Estudiar métodos de validación de los workflows.
- ◎ Extender el método de minado a otros dominios de supervisión.
- ◎ Añadir nuevas funcionalidades a partir de los workflows obtenidos:
 - Seguimiento online de nuevas secuencias.
 - Detección de desviaciones.
 - Identificación de la forma más próxima cuando llega una nueva ejecución.



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

DSIC

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS
INFORMÁTICOS Y COMPUTACIÓN



dmip

¡Muchas gracias!

DAVID NIEVES CORDONES

daniecor@dsic.upv.es