



**indra**

Tráfico Ferroviario

**CADIE+**



## Análisis de Capacidad de Redes Ferroviarias

Julio Rives – Gerente de proyectos

Alamys / Barcelona / 30 de noviembre al 3 de diciembre de 2009



# ÍNDICE

01 Contexto

02 Objetivos

03 Estado del proyecto

04 Análisis de cantón crítico

- Planificación del ejercicio
- Proceso de cálculo
- Resultados

05 Análisis de capacidad teórica:

- Planificación del ejercicio
- Proceso de cálculo
- Resultados

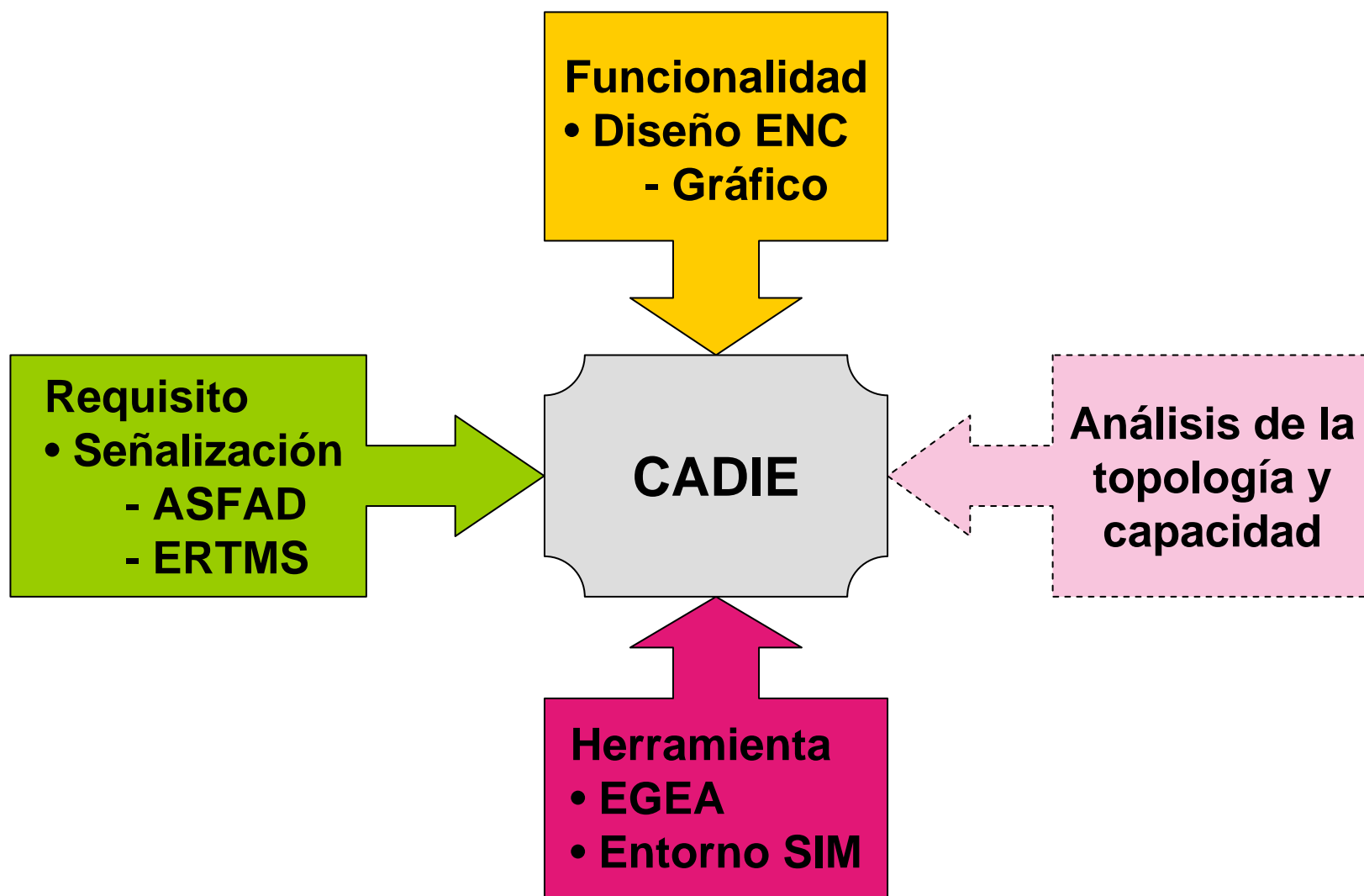
06 Hitos y avances

07 Trabajo Futuro

# CONTEXTO: GÉNESIS Y HERRAMIENTAS DEL PROYECTO

- ADIF como cliente
- El proyecto CADIE originalmente buscaba:
  - El diseño de la infraestructura de redes ferroviarias mediante una IHM WYSIWYG (seleccionar, arrastrar y soltar)
  - Cálculo de los programas de explotación de los enclavamientos
- OBLIGATORIO: poder con señalización ASFA y ERTMS
- Herramientas de Indra base del desarrollo actual:
  - IGEA, conjunto de librerías para desarrollo de la IHM
  - Entorno de simulación completo del sistema DaVinci para los procesos de cálculo

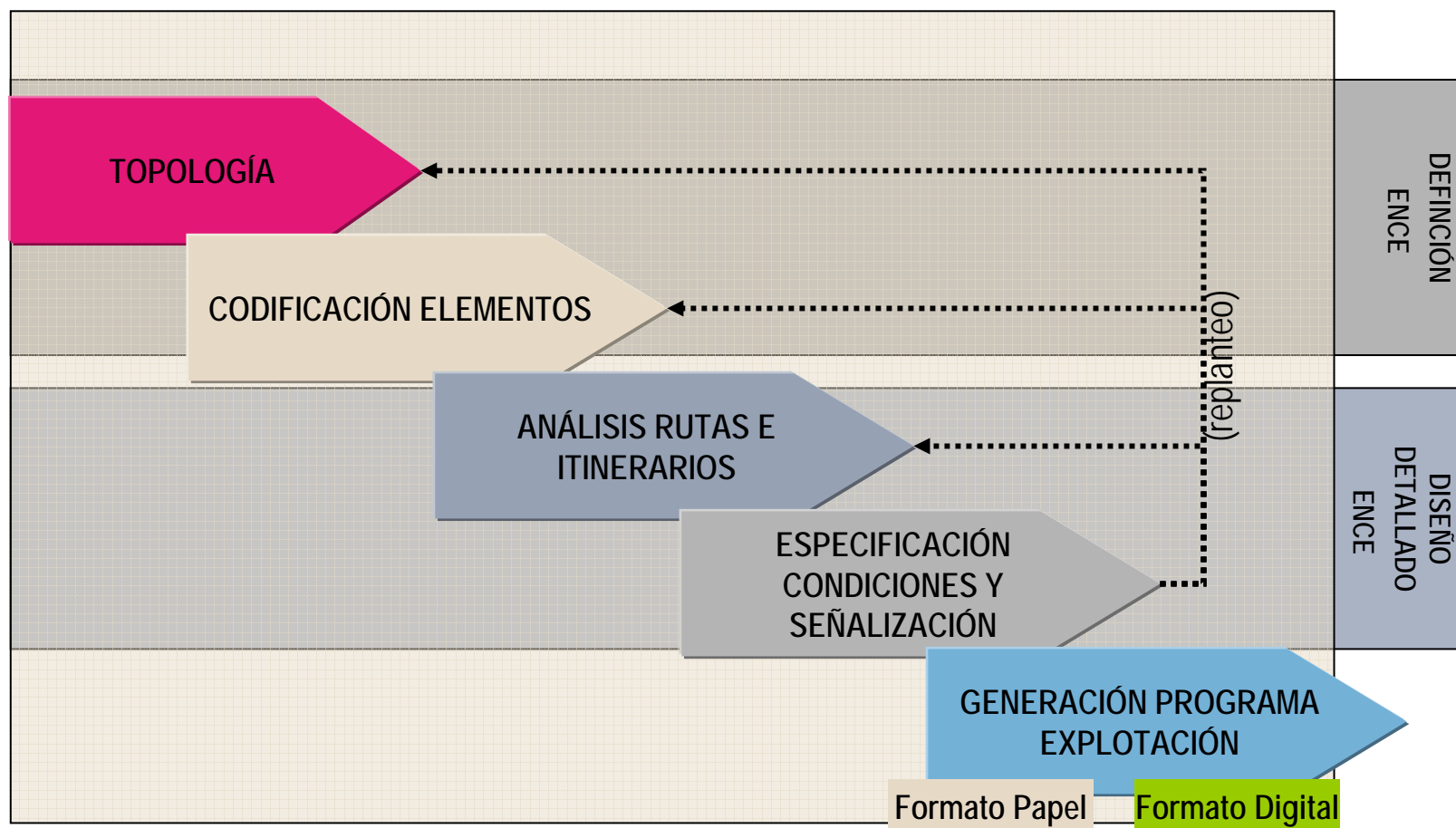
# CONTEXTO: GÉNESIS DEL PROYECTO Y TRABAJO ACTUAL



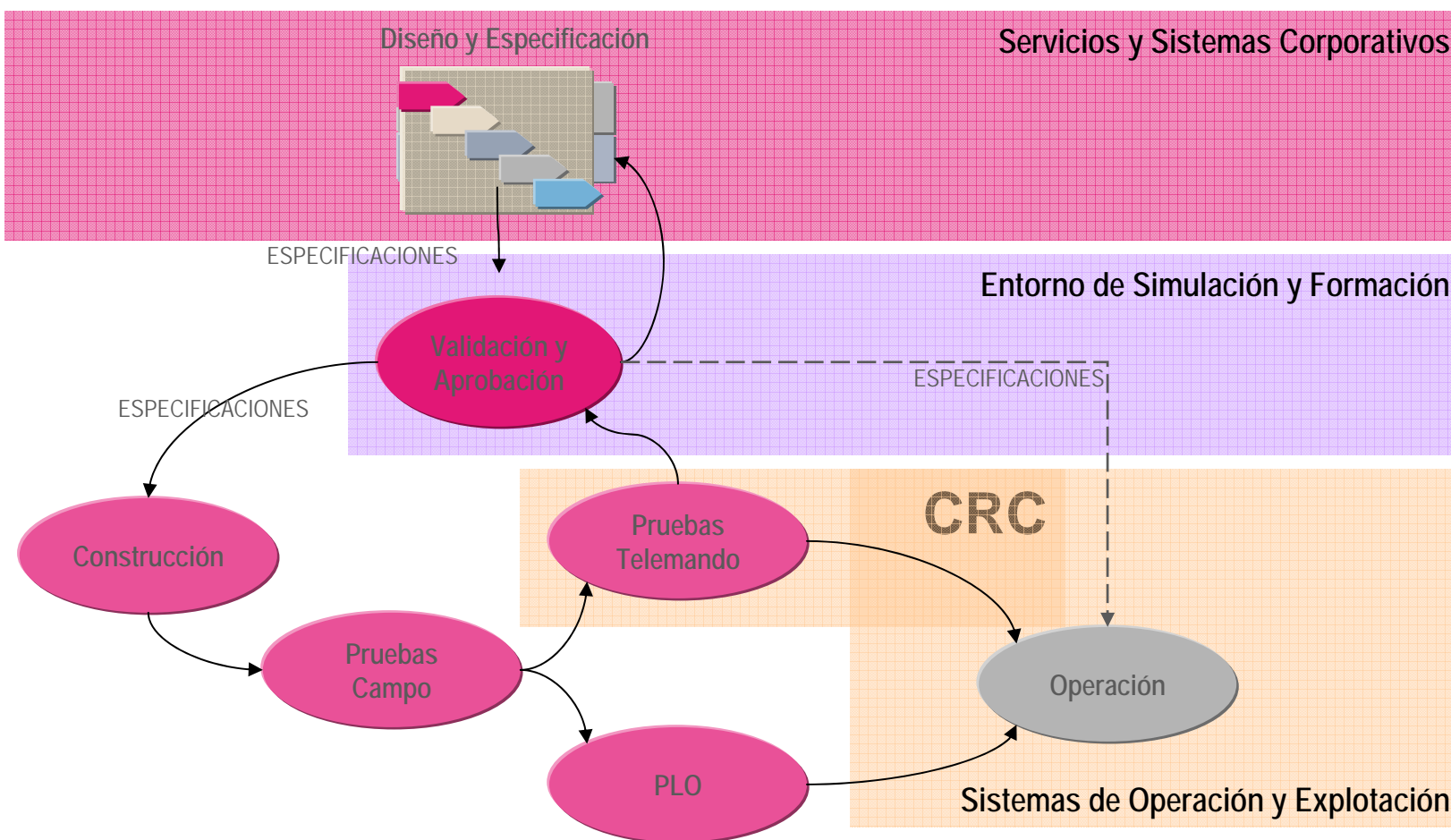
# CONTEXTO: EQUIPO DESARROLLADOR E INVESTIGADOR DE INDRA

- Javier Rivilla Lizano
- Silvia Pascual Chico
- José Ramón Seco Saiz
- Gerardo González Muñoz
- Javier Doniga Basanta

# CONCEPTO OPERATIVO CICLO DE VIDA



# CONCEPTO OPERATIVO FLUJO DE TRABAJO

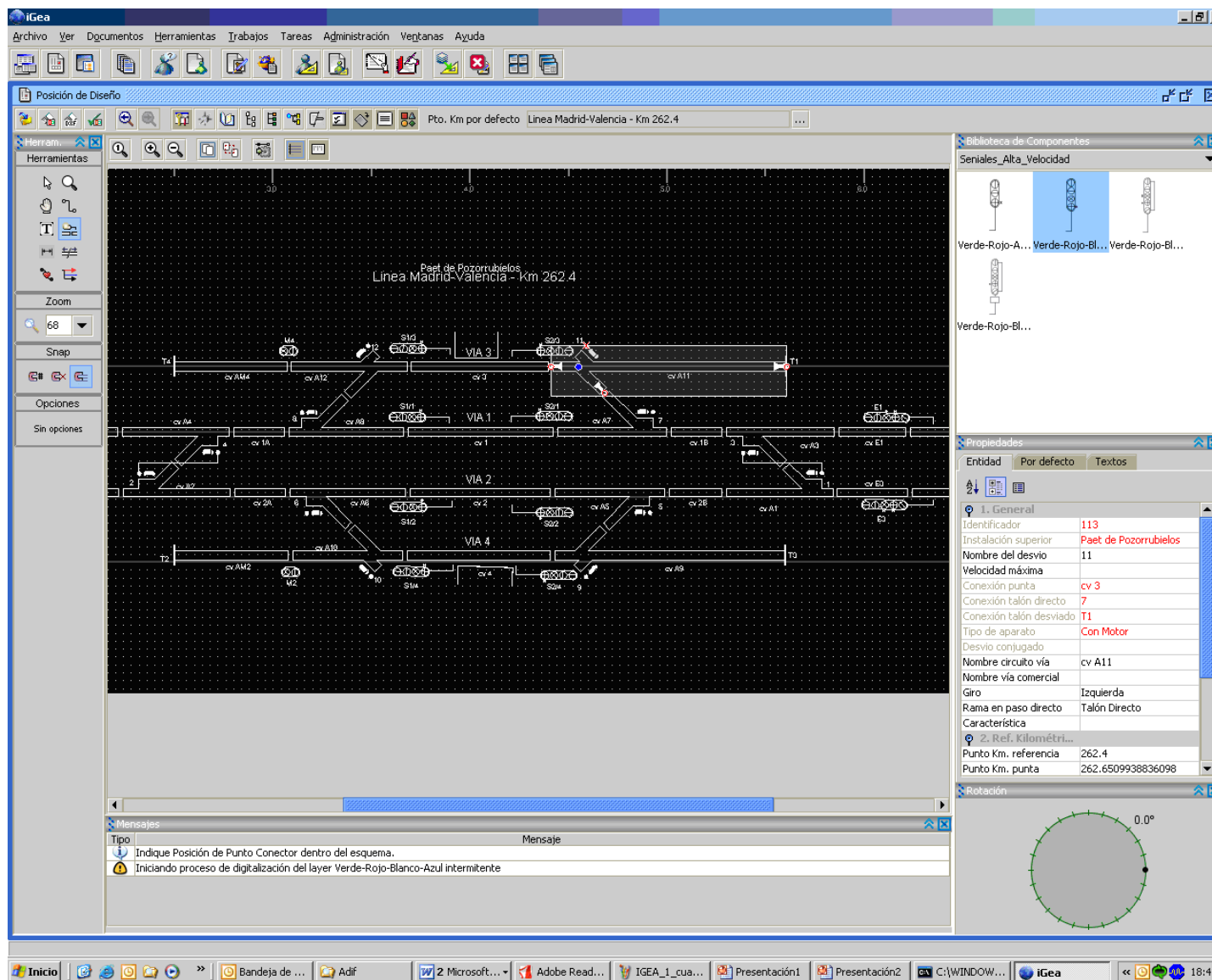


## ESTADO DEL PROYECTO

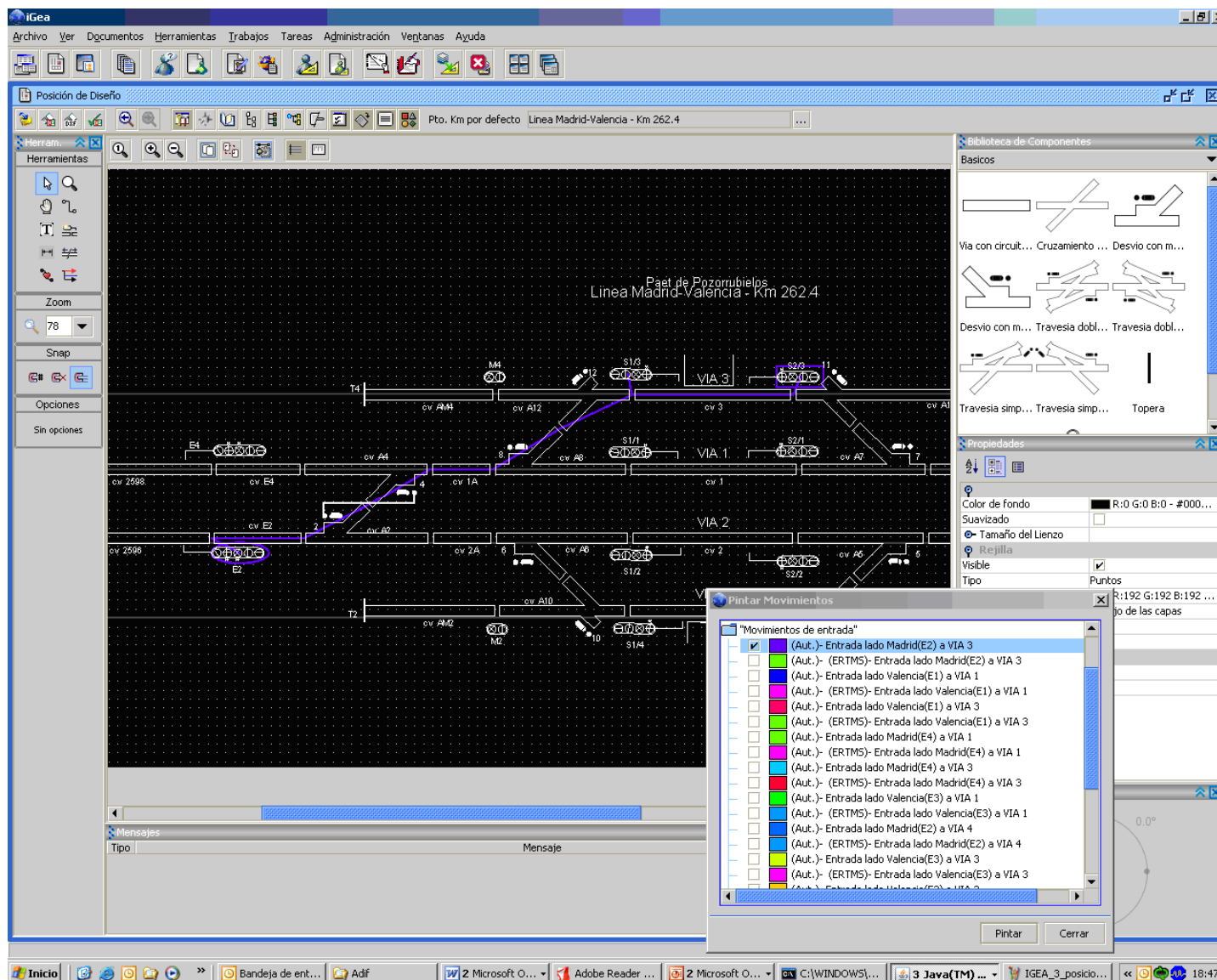
- Actualmente se está entregando al cliente:
  - Posición de diseño
  - Cálculo de programas de explotación de los enclavamientos diseñados de la línea/red bajo análisis
- Desarrollando las ventanas de la IHM de capacidades
- En marcha el análisis de capacidad máxima en modo híbrido
  - Es el análisis de capacidad máxima considerando una serie de trenes previamente planificados
- Prevista a medio plazo la ampliación del cálculo de capacidad
  - Problema abierto
  - Mejoras introducidas progresivamente



# ESTADO DEL PROYECTO DISEÑO DE ESTACIONES E INTER-ESTACIONES



# ESTADO DEL PROYECTO RUTAS, DESLIZAMIENTO E INCOMPATIBILIDADES



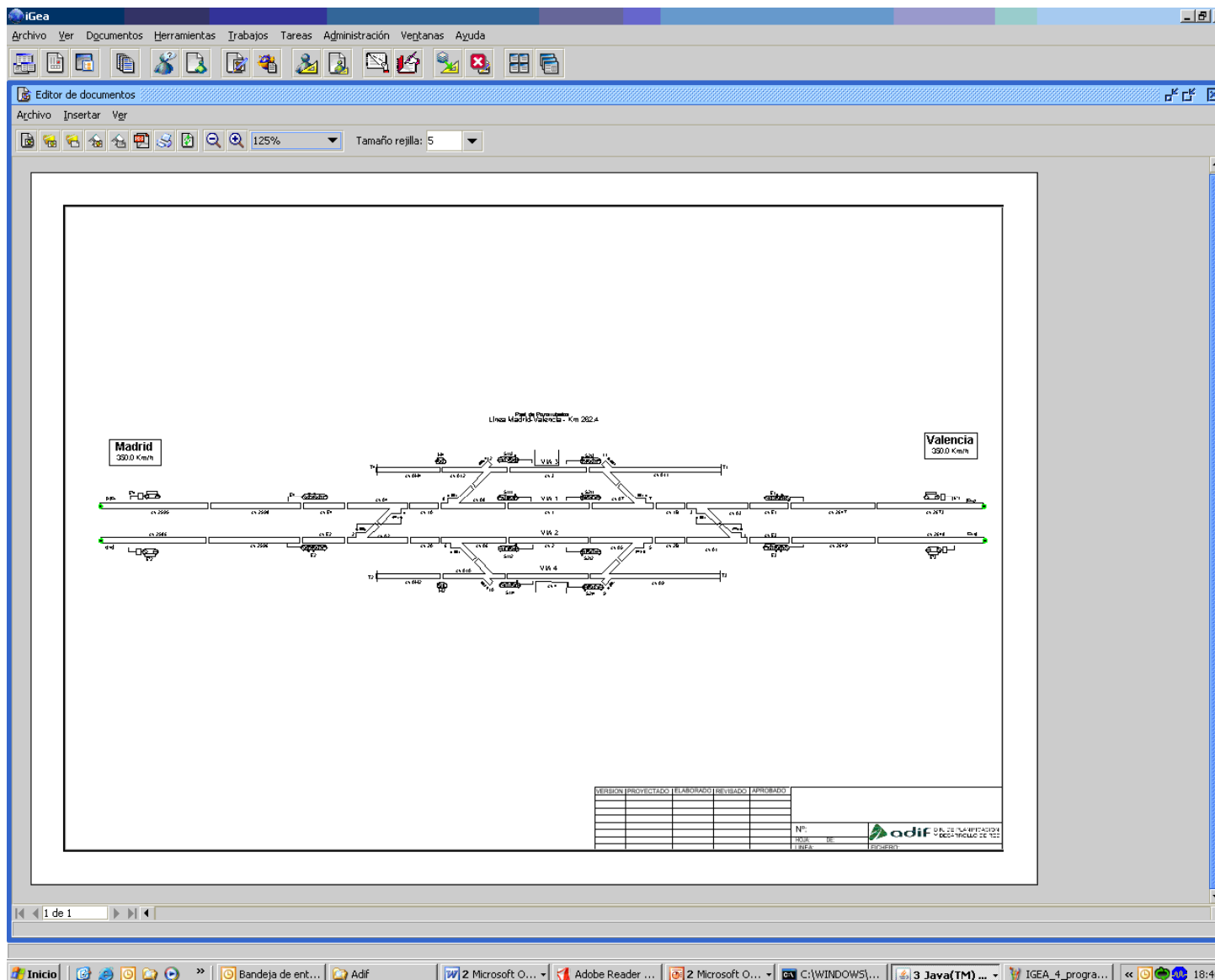
# ESTADO DEL PROYECTO GENERACIÓN DEL PROGRAMA DE EXPLOTACIÓN

The screenshot displays the CADIE+ software interface. The top window shows a detailed track diagram for the 'Línea Madrid-Valencia - Km 262.4'. The diagram includes various track segments labeled with codes like 'cv 1', 'cv 2', 'cv 3', etc., and signals. Below the diagram is a table listing train movements with columns for 'Orden' (Order), 'Descripción' (Description), and 'Automático' (Automatic).

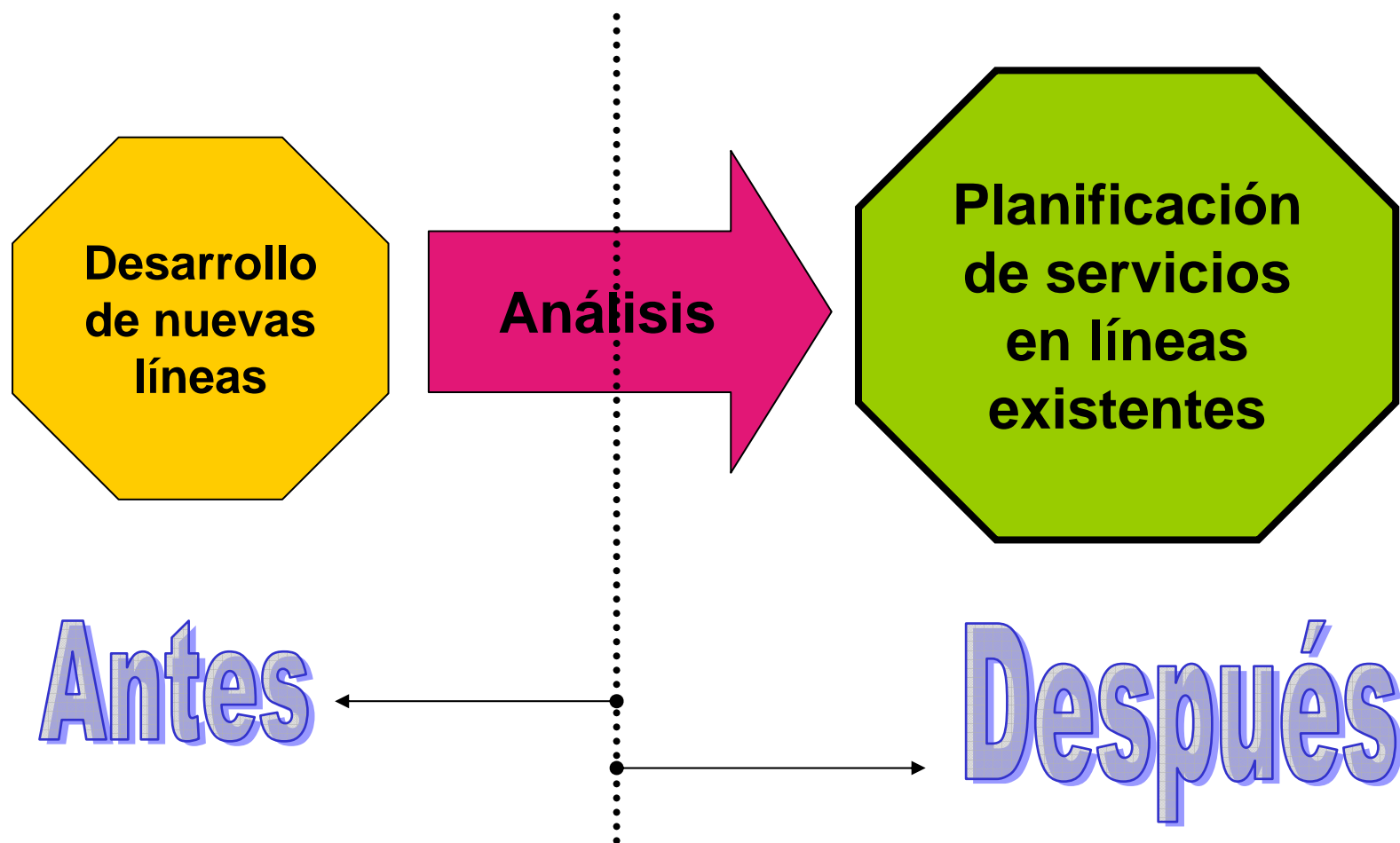
Orden	Descripción	Automático
8	P.D Valencia(E3) Madrid(E2) por VIA 2	Automático
9	Paso Valencia(E3) Madrid(E4) por VIA 1	Automático
10	Paso Valencia(E3) Madrid(E4) por VIA 1	Automático
11	Paso Madrid(E2) Valencia(E1) por VIA 1	Automático
12	Paso Madrid(E2) Valencia(E1) por VIA 1	Automático
13	Paso Valencia(E1) Madrid(E2) por VIA 1	Automático
14	Paso Valencia(E1) Madrid(E2) por VIA 1	Automático
15	Paso Madrid(E4) Valencia(E3) por VIA 1	Automático
16	Paso Madrid(E4) Valencia(E3) por VIA 1	Automático
17	Entrada lado Madrid(E2) a VIA 3	Automático
18	Entrada lado Madrid(E2) a VIA 3	Automático
19	Entrada lado Valencia(E1) a VIA 1	Automático
20	Entrada lado Valencia(E1) a VIA 1	Automático
21	Entrada lado Valencia(E1) a VIA 3	Automático
22	Entrada lado Valencia(E1) a VIA 3	Automático
23	Entrada lado Madrid(E4) a VIA 1	Automático
24	Entrada lado Madrid(E4) a VIA 1	Automático
25	Entrada lado Madrid(E4) a VIA 3	Automático
26	Entrada lado Madrid(E4) a VIA 3	Automático
27	Entrada lado Valencia(E3) a VIA 1	Automático
28	Entrada lado Valencia(E3) a VIA 1	Automático
29	Entrada lado Madrid(E2) a VIA 4	Automático

The bottom window shows a detailed view of the 'CIRCULATIONS' and 'FREE TRACK CIRCUITS' tables, which are used for generating the operating program.

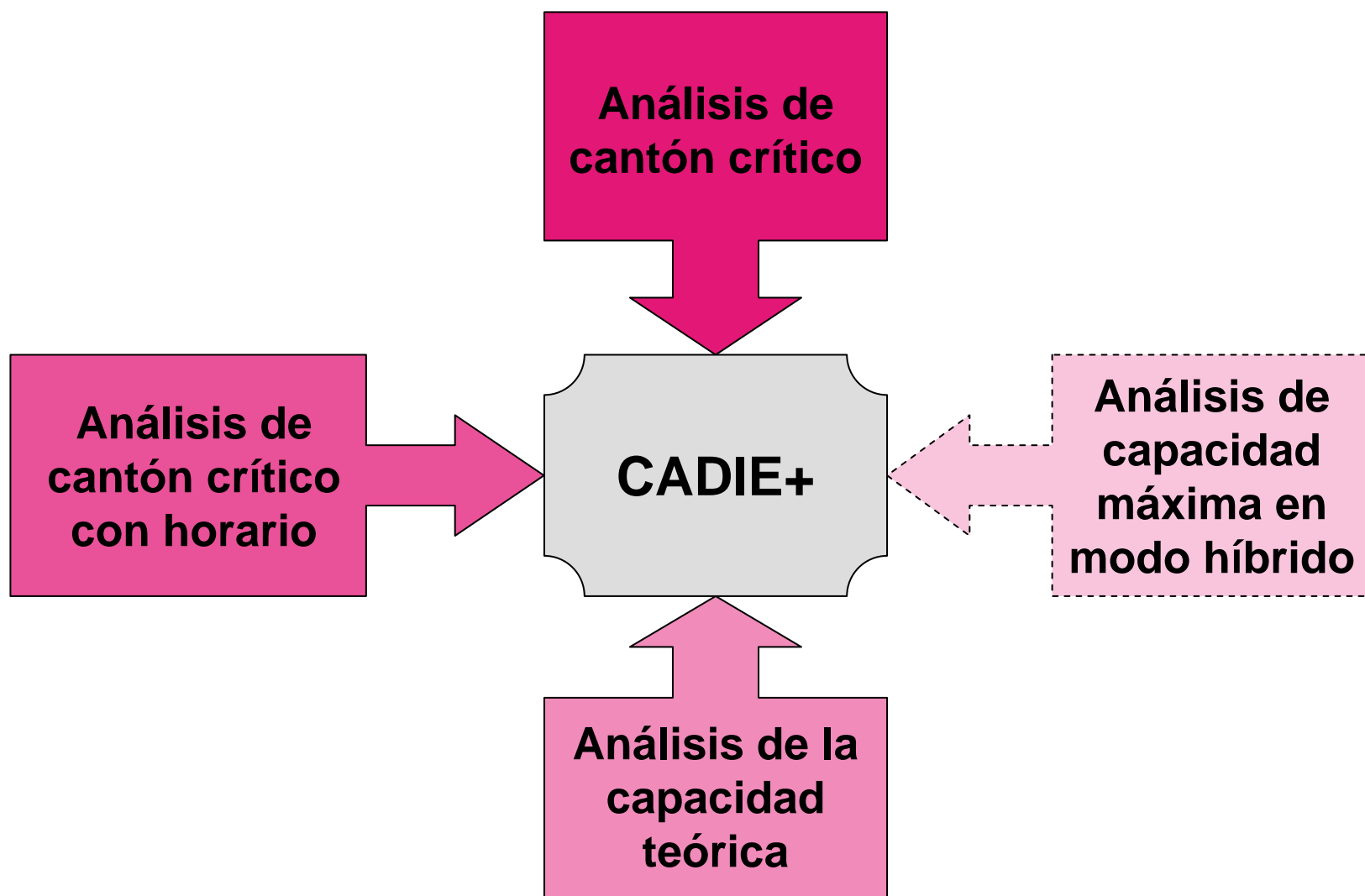
# ESTADO DEL PROYECTO INFORMES



# ESTADO DEL CADIE ... SE DIRIGE A NUEVOS USUARIOS



# DISEÑO + ANALISIS = CADIE+ OBJETIVOS



# ANÁLISIS DEL CANTÓN CRÍTICO

## DEFINICIÓN SIN Y CON HORARIOS

- Comprueba si unos determinados trenes, saliendo a ciertas horas son capaces de circular por la línea sin tener que realizar disminuciones de velocidad debido a conflictos con otros trenes
- La planificación de un ejercicio consiste en la generación de una lista de trenes, a cada uno de los cuales se le asocia:
  - Una hora de salida del origen
  - Recorrido global que va a realizar por la línea, en forma de un conjunto sucesivo de rutas
  - Punto y duración de las paradas de cada tren en su recorrido
    - **Puede programárseles paradas en apeaderos y estaciones**
    - **Si un tren tiene programada una parada en una estación, podrá realizarla en cualquiera de los caminos alternativos posibles**
  - *Cuando se analiza un horario, se indicará hora de entrada y salida de una estación si el tren tiene parada en dicha estación, o de hora de paso por la estación para trenes sin parada*

# ANÁLISIS DEL CANTÓN CRÍTICO PLANIFICACIÓN

- Para cada tipo de tren se definen las siguientes características:
  - Tipo de tren
  - Velocidad máxima
  - Masa
  - Longitud
  - Curva de aceleración
  - Curva de frenado
  - La lista de itinerarios que van a ser asignados y sus posibles alternativas, como conjunto de los movimientos (rutas) consecutivos que el tren va a ir recorriendo y que forman parte de los programas de explotación de las estaciones sobre las que se está diseñando el recorrido
    - Pueden incluirse en un archivo o utilizarse la IHM para indicar las rutas
- Los tipos de tren se desdoblan en:
  - trenes ficticios "tren-tipo-1", "tren-tipo-2", etc. y
  - reales "AVE(300)", "IC3 350 E", "Talgo-350" y "Loc 252"



# ANÁLISIS DEL CANTÓN CRÍTICO

## PROCESO DE CÁLCULO

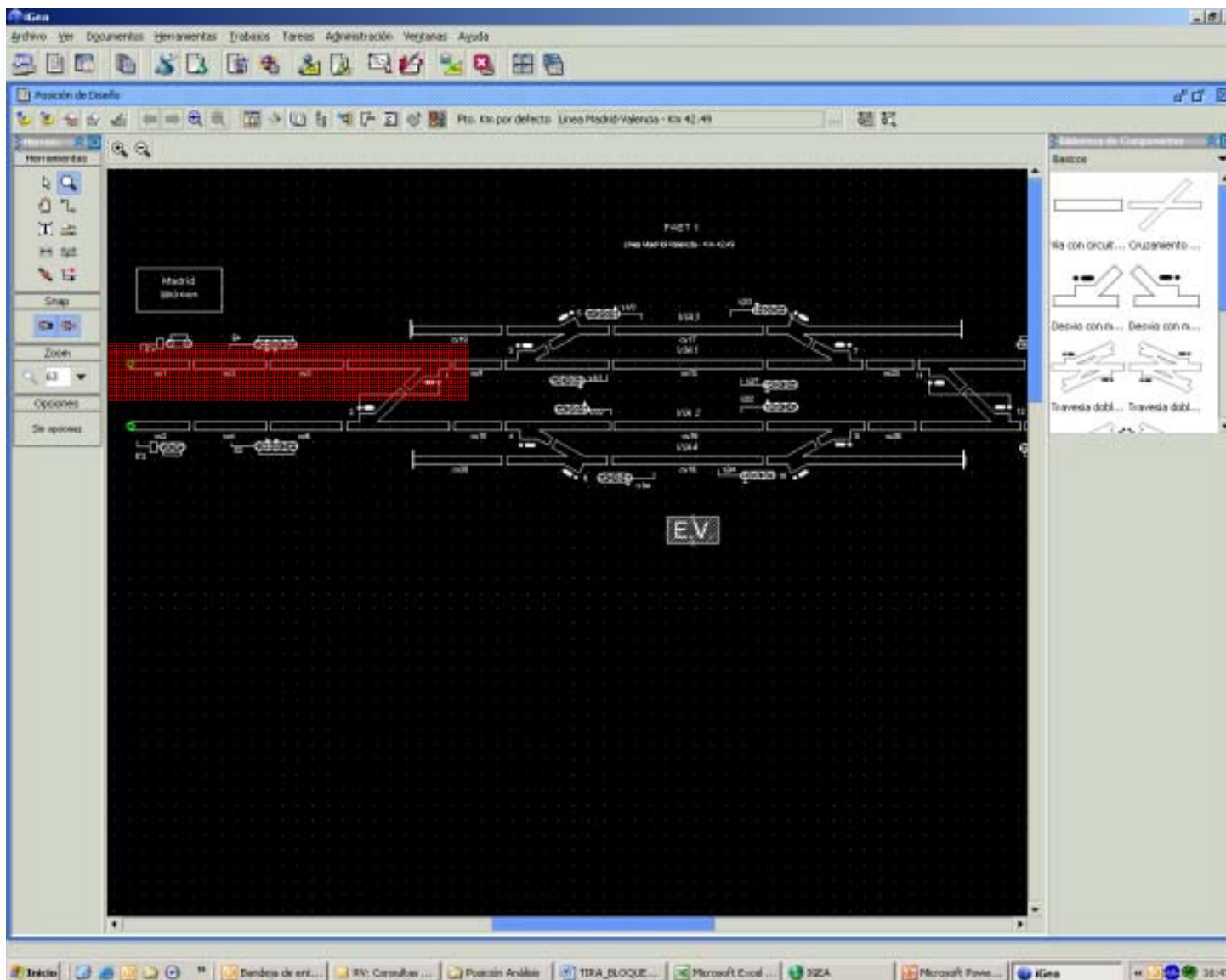
- Cálculo basado en simulación del entorno ferroviario considerando:
  - Trazado
  - Topología
- El sistema calculará si la planificación realizada es posible, de acuerdo a las siguientes condiciones de criticidad... que:
  - Los trenes vean siempre todas las señales en vía libre y puedan circular a la velocidad máxima sin frenar
    - **En cuanto un tren vaya a entrar en un cantón y el cantón siguiente esté ocupado por otro tren, se define éste como cantón crítico**
  - Los itinerarios asignados a un tren vayan siendo compatibles con el estado que los enclavamientos imponen al resto de los trenes
    - **En cuanto un tren se vea obligado a frenar porque el itinerario es incompatible con el estado del enclavamiento, se define el cantón crítico que frena al tren**
  - El tren tome una alternativa de prioridad menor que se le haya planificado
    - **Si es posible una alternativa, se toma y el sistema guardará información del momento y la situación, para el informe de resultados**

# ANÁLISIS DEL CANTÓN CRÍTICO

## RESULTADOS

- En el caso de que la planificación no sea posible y se encuentre cantón crítico, el resultado del cálculo de capacidad es:
  - El cantón crítico que está limitando que los trenes inyectados en la simulación cumplan los horarios que se les ha asignado
  - El tren que se ve afectado
  - El momento en el que ocurre la limitación
  - El tren que está provocando la limitación
- En general se generará un informe en el que además del resultado final del cálculo se informará de los motivos que, en cada una de las situaciones, han provocado la necesidad de que tome una alternativa
  - Para cada una de estas situaciones se guardará un “foto” del estado completo de la línea en el momento del evento, para que el usuario pueda ver una imagen sobre la tira de la situación en ese momento
- El resultado del cálculo se presentará en un esquema de ocupación de vías, donde se reflejen las horas de paso y parada de los diferentes trenes por las vías de cada una de las estaciones
- Presentación de la simulación del cálculo y su resultado sobre la tira de bloqueo que represente la línea bajo estudio

# ANÁLISIS DEL CANTÓN CRÍTICO: VENTANA DE CANTÓN CRÍTICO

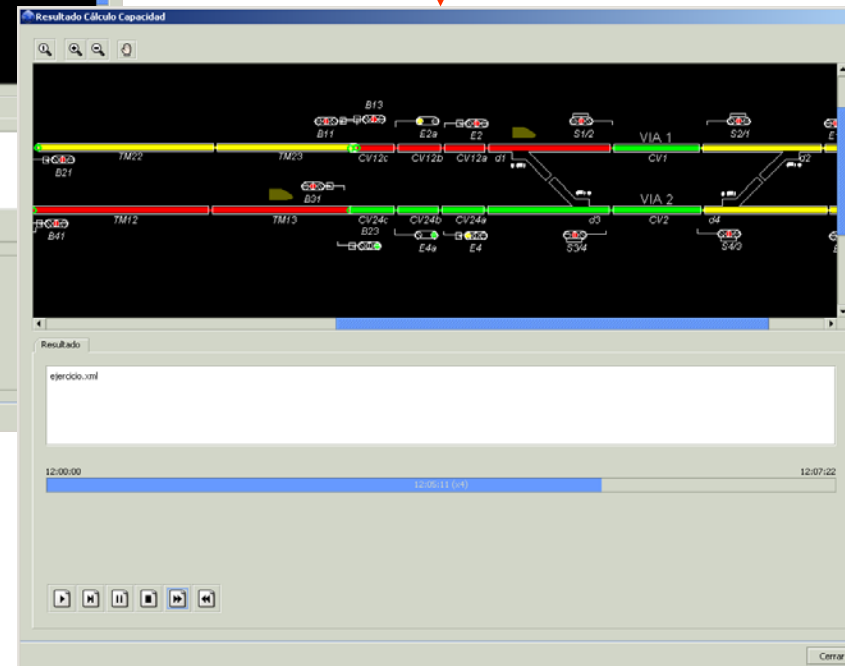
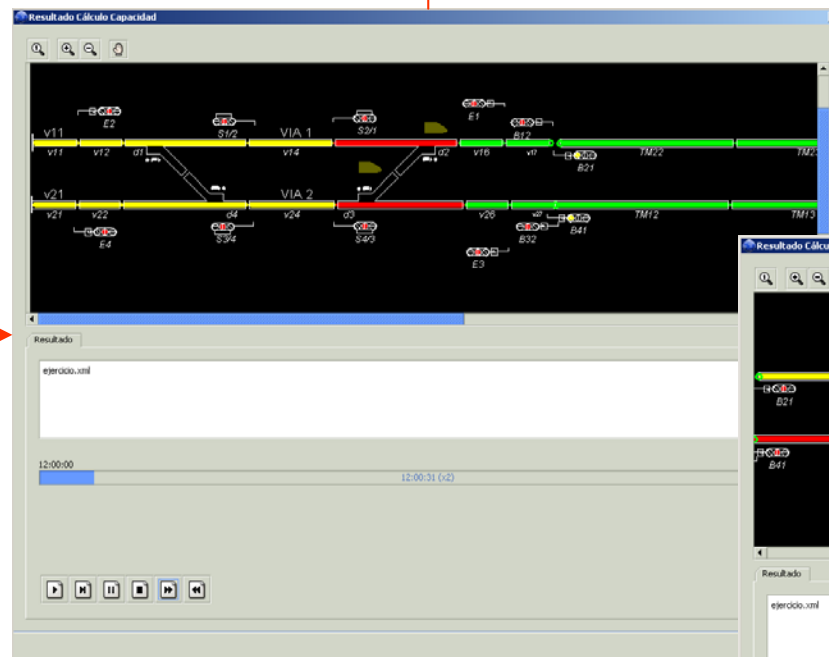
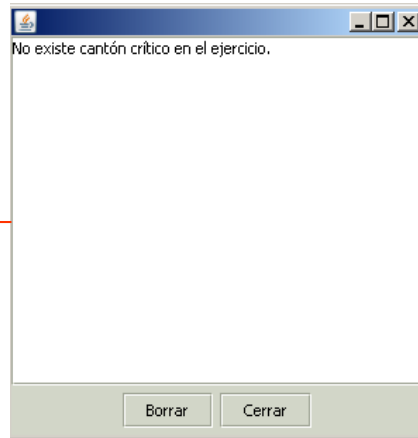


## Ejemplo de simulación de cantón crítico

Ejercicio de capacidad máxima para 2 trenes que parten de Via1 y Vía 2 respectivamente.

El sistema muestra el resultado en 2 partes:

1. Ventana donde se indica que los dos trenes pueden circular 'no existe cantón crítico'
2. Dos ventanas de simulación del ejercicio donde se refleja el movimiento de los trenes



# ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD TEÓRICA

## DEFINICIÓN

- El análisis es parecido al de cantón crítico, salvo porque:
  - La lista de trenes es ilimitada (sin fin)
  - Se ciñe a una ventana temporal determinada
  - Los trenes no tienen hora de salida ni horario planificado
  - Se busca el n. máximo de trenes que pueda encajar la red en dicha ventana temporal
- El objetivo no es cumplir un horario más o menos rígido, sino conocer los límites de la red
- El estudio empieza con el 1er tren de la secuencia saliendo a la hora inicial; se van añadiendo trenes a la línea según el orden de secuencia y pasada la hora final de simulación, se dejarán de añadir trenes

# ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD TEÓRICA

## PROCESO DE CÁLCULO

- Cálculo basado en simulación (trazado y topología)
- Sistema de decisión para ajustar el cálculo las horas de salida de los trenes y realizar desvíos por pasos alternativos para permitir el cumplimiento de los requisitos establecidos de acuerdo a las siguientes condiciones:
  - Los trenes que circularán por ella serán de distintos tipos tanto por sus condiciones físicas (Vg. velocidad) como por el comportamiento en cuanto a cumplimiento de horarios, paradas, etc.
  - Unos trenes tendrán más prioridad que otros
  - A los trenes se les puede programar paradas en apeaderos y estaciones
  - Si un tren tiene programada una parada en una estación, podrá realizarla en cualquiera de los caminos alternativos posibles
  - Si es necesario retrasar un tren, se modificará su hora de salida
  - En general, el proceso de resolver los conflictos será el paso por una ruta alternativa, si no hay ruta alternativa será necesario aplicar retrasos en la hora de salida

# ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD TEÓRICA PARCELACIÓN

- El recorrido a realizar por los trenes se divide en zonas, se llamarán sectores. Un sector es el espacio de vía que va desde el inicio de una zona con vías alternativas hasta el inicio de la siguiente zona que contiene vías alternativas
- Todos los sectores estarán formados por una primera zona con vías alternativas y una segunda zona, opcional, en las que no existen alternativas. Una zona puede contener una única alternativa
- Los conflictos entre dos trenes se resuelven dentro de cada sector
- Una vez dividido el recorrido en sectores, se crea una secuencia infinita de trenes. Esta secuencia estará basada en la lista definida por el usuario, de forma que cuando se llega al último tren de la lista original, se comienza de nuevo por el primero
- Se estudia tren a tren los conflictos que existan en sus movimientos y se van resolviendo como se han descrito anteriormente

# ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD TEÓRICA

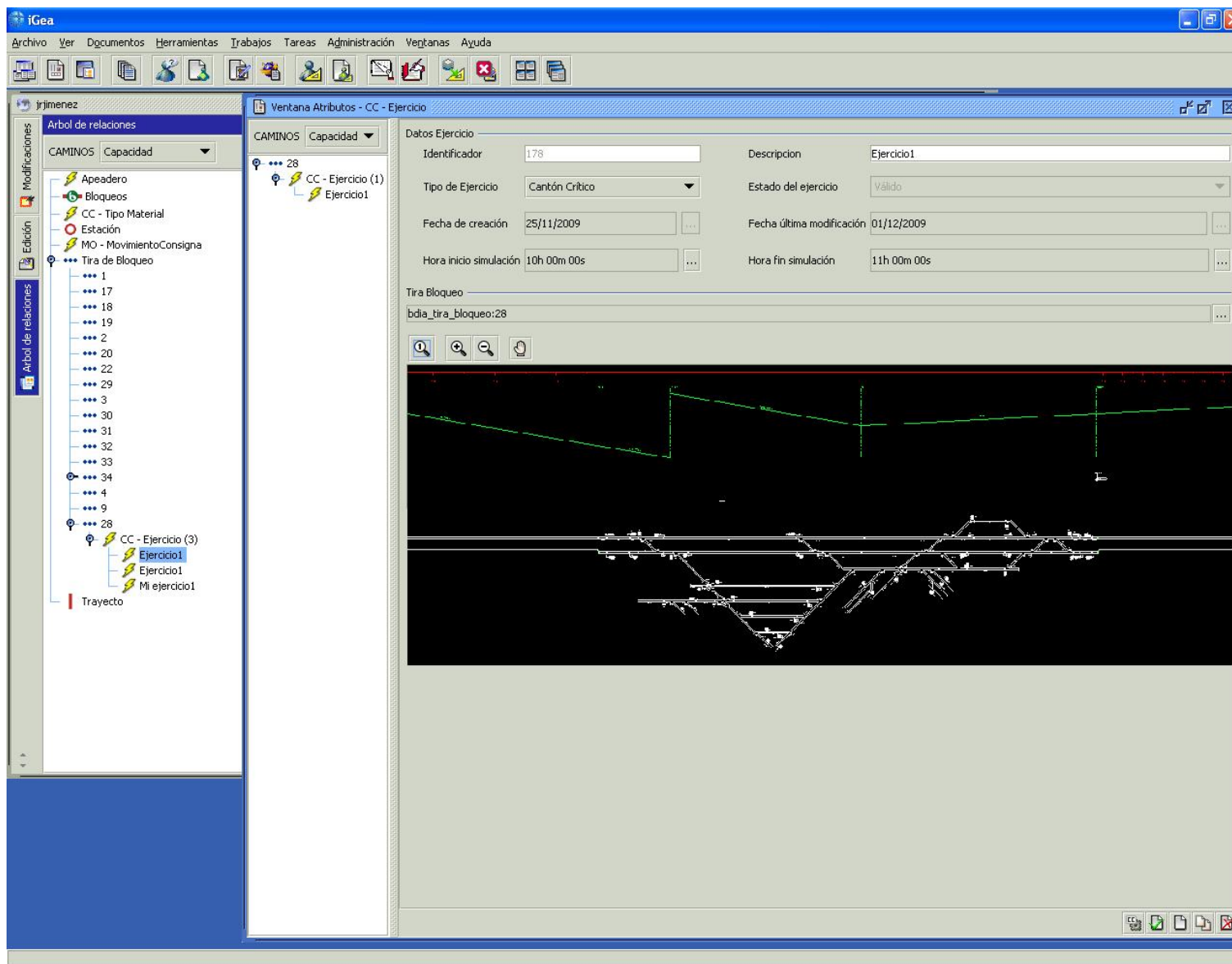
## RESULTADOS

### INFORME DE CAPACIDAD MÁXIMA

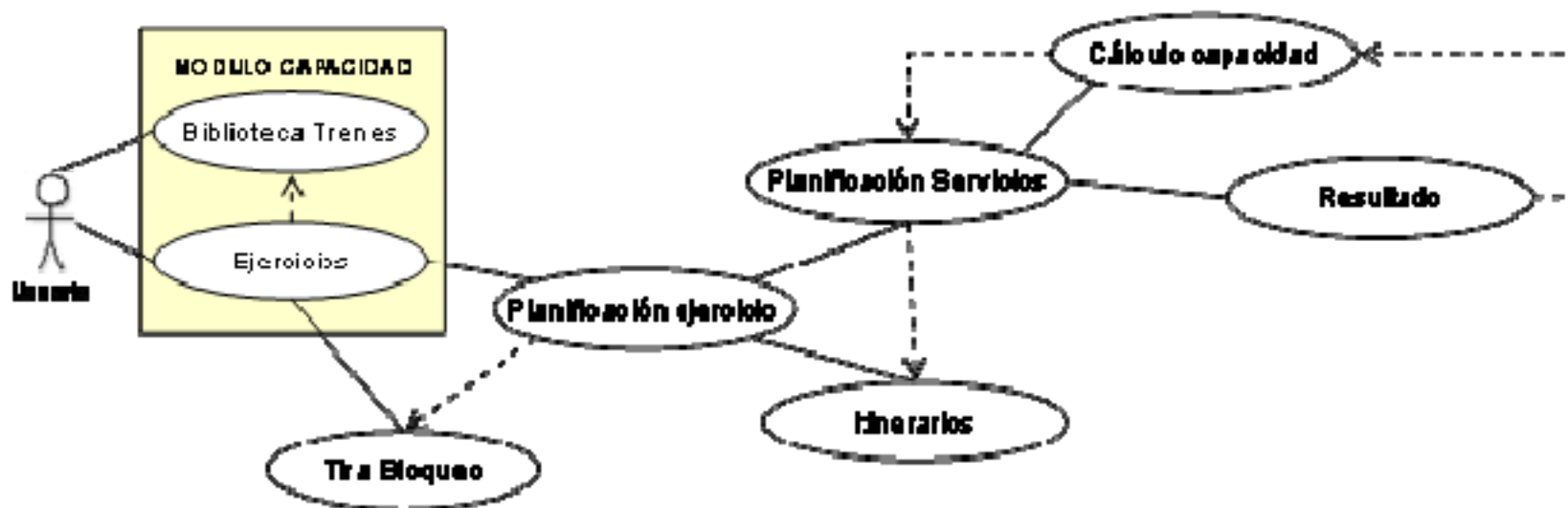
- Se generará un informe del proceso de cálculo de capacidad, en el que además de la lista de recorridos se informará de los motivos que en cada una de las situaciones han provocado un retraso en un tren o la necesidad de tomar una alternativa
- Se tipifican 3 tipos de eventos diferentes a guardar en el informe, con su información de contexto asociada
  - Un tren usa un itinerario alternativo porque no puede usar el principal, o alguno de los otros alternativos de mayor prioridad
    - **Se enclava la alternativa de siguiente prioridad**
  - Tren no puede entrar o salir de una estación, provocado por el tren o trenes que van delante
    - **Se aplicará al tren el retraso mínimo necesario en su hora de salida que permita al tren continuar sin frenar**
  - Tren no puede entrar o salir de una estación, provocado por un tren que iba detrás y le ha adelantado
    - **Se aplicará al tren que adelanta el retraso mínimo necesario en su hora de salida que permita al tren afectado continuar sin frenar**



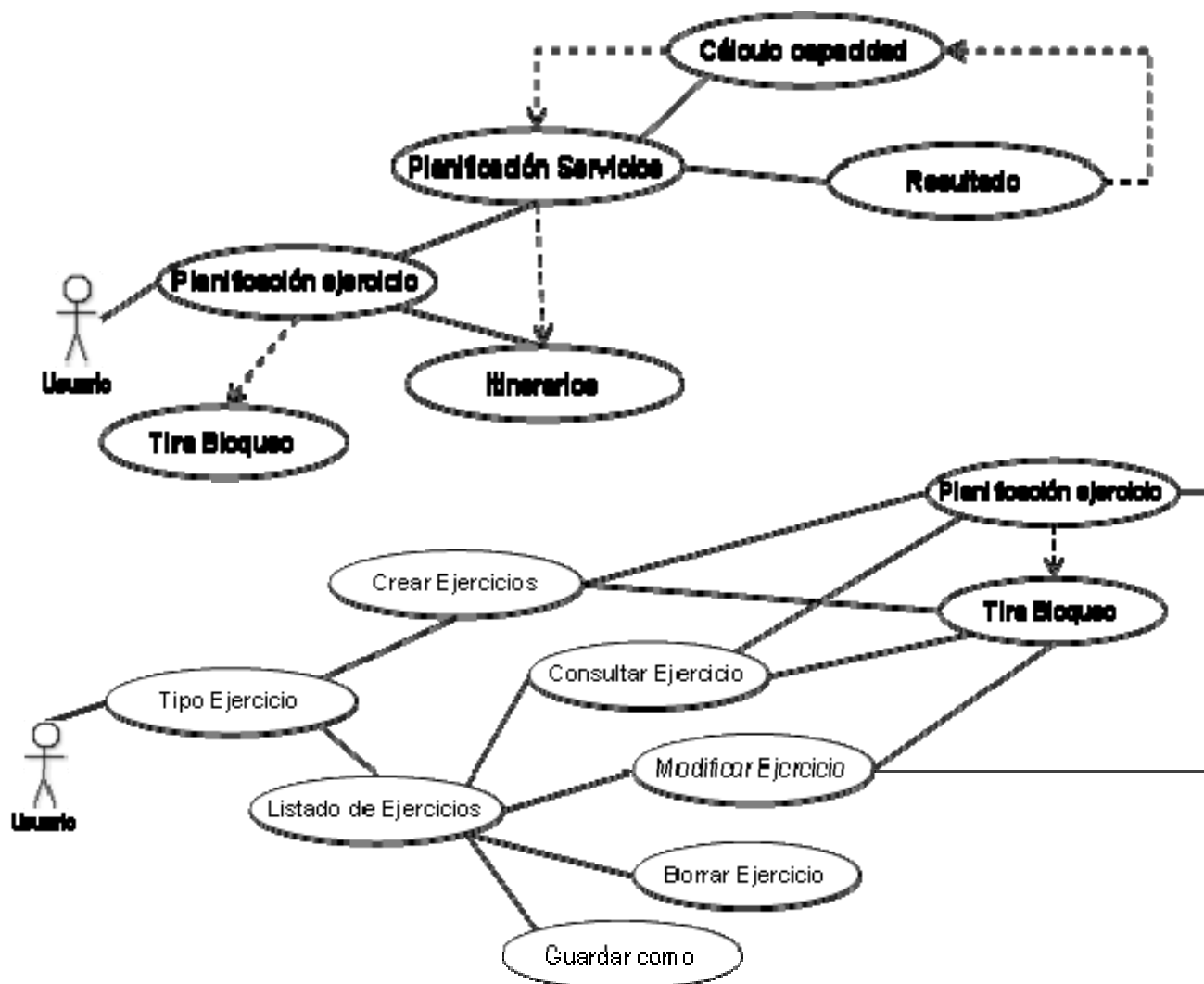
# IHM ANÁLISIS CAPACIDAD GESTIÓN DEL EJERCICIO



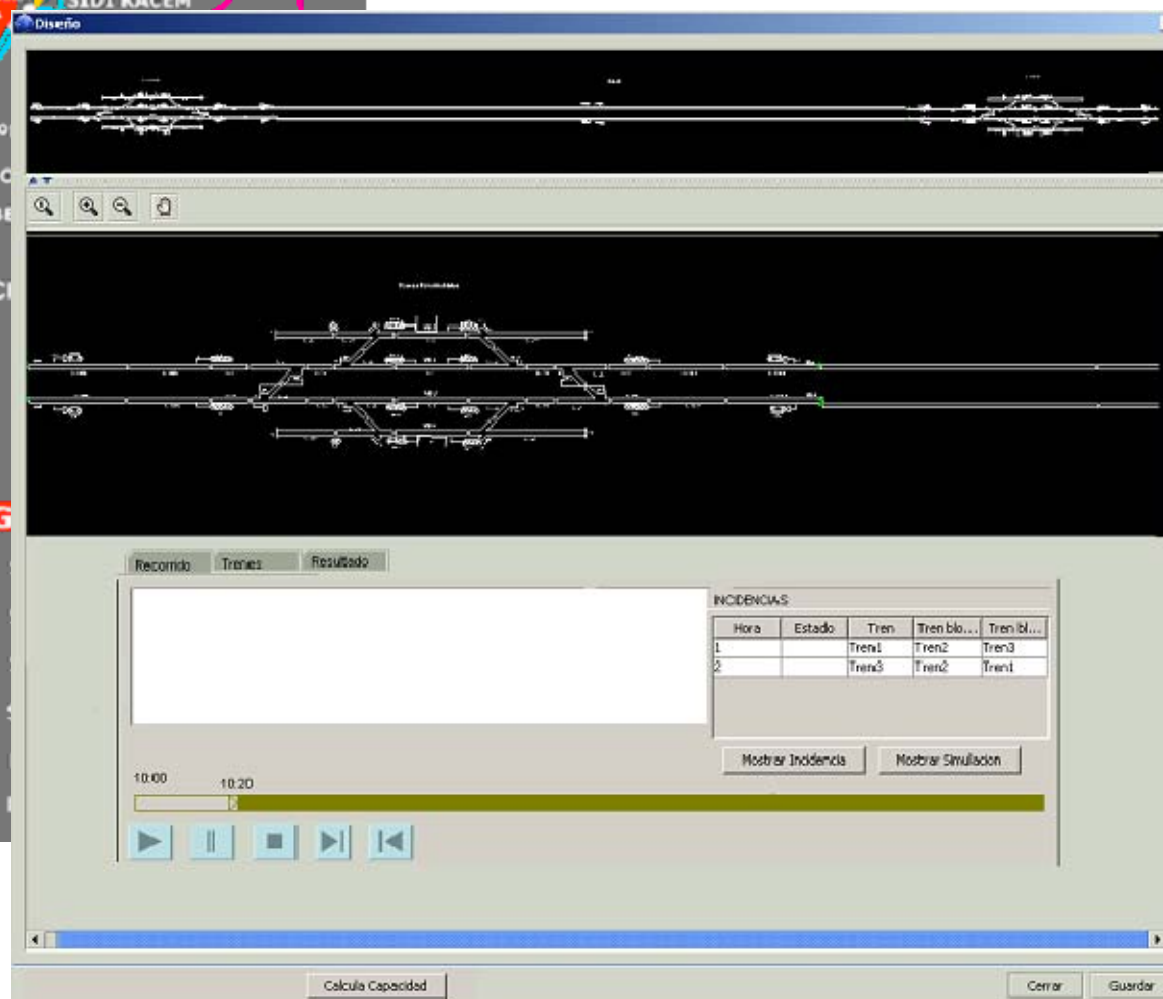
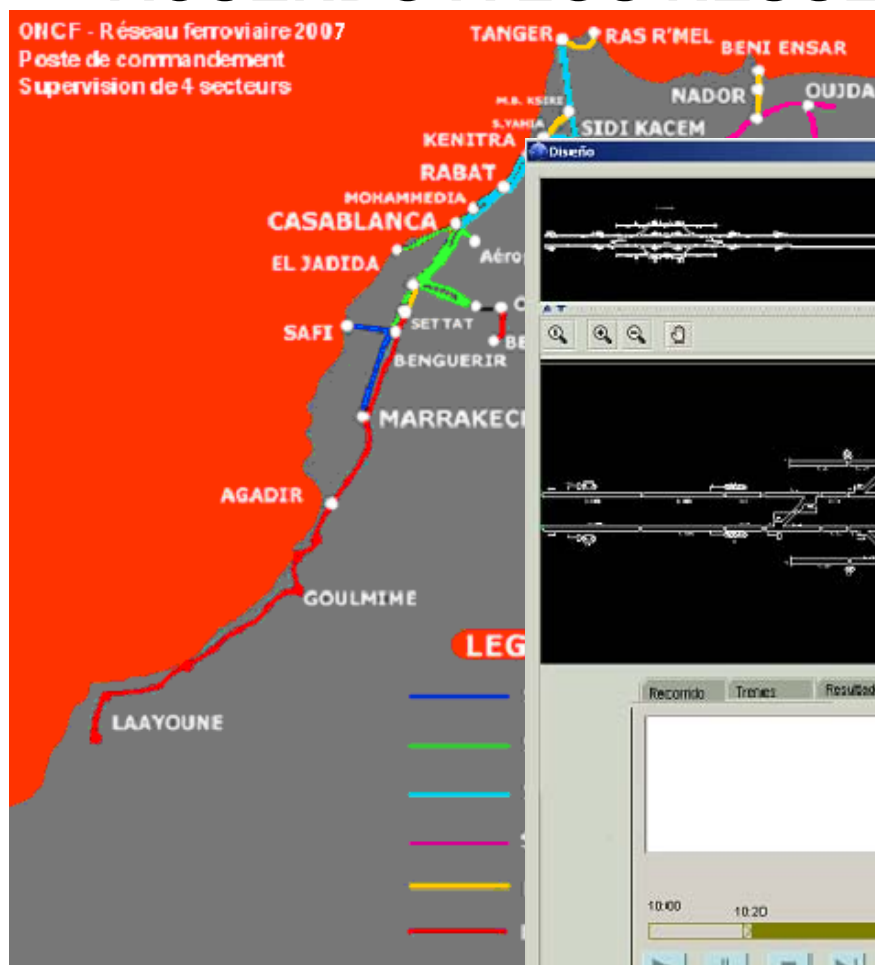
## HITOS Y AVANCES: MODELO DE INTERACCIÓN CON CADIE+



# HITOS Y AVANCES: PLANIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EJERCICIOS



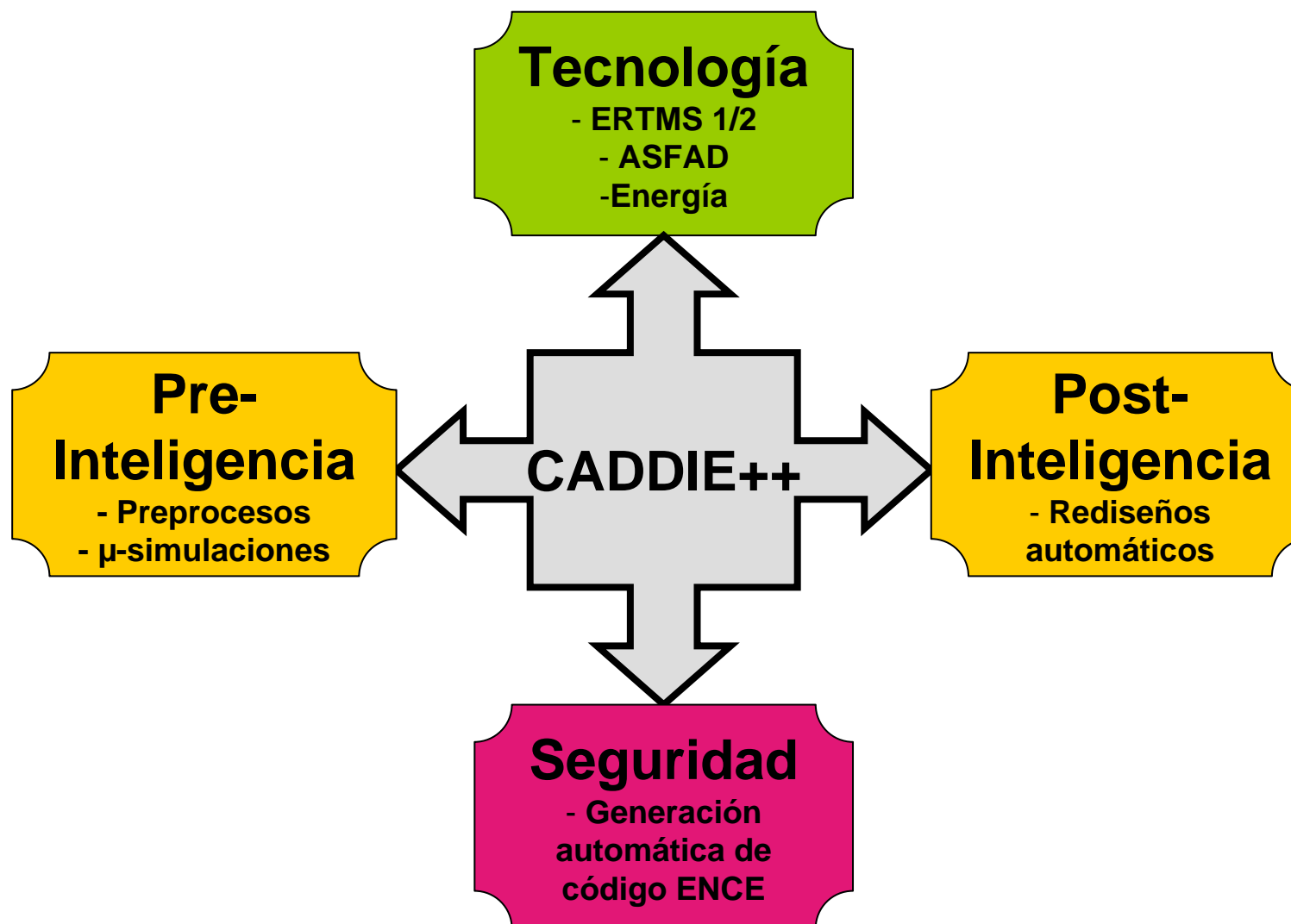
# HITOS Y AVANCES DE CADIE+ REMODELACIÓN MANUAL DE LAS LÍNEAS DE ACUERDO A LOS RESULTADOS DE CAPACIDAD



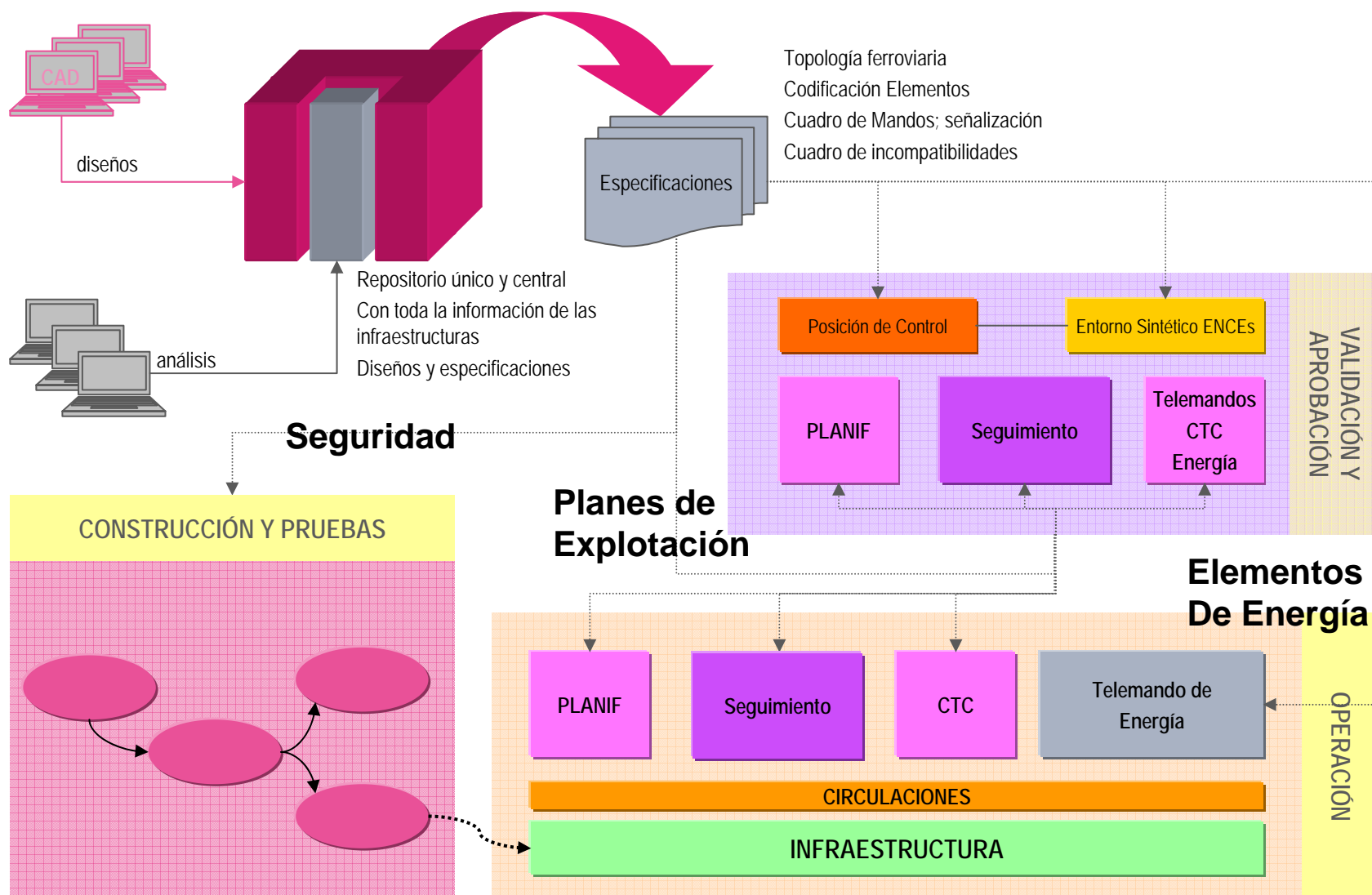
## TRABAJO FUTURO MEJORAS Y AMPLIACIÓN DEL RANGO DE USUARIOS POTENCIALES

- Preprocesado detallado de la topología de red para detectar conflictos, o cantones/secciones críticas antes de la simulación
- Indicaciones de cómo remodelar la topología para evitar las secciones o cantones críticos (rediseño semiautomático)
- Simulaciones cada vez más finas
  - Ahora se aplican una serie de simplificaciones
- Implementación del modo híbrido
- Consideración de otros tipos de señalización
  - Estudios de viabilidad de instalación de nuevos tipos de señalización en líneas ya existentes
- Diseño de la alimentación de la línea
- Evolucionar el sistema para introducir factores dinámicos de seguridad del enclavamiento diseñado
  - Cálculo de tiempos de proximidad
  - Cálculo de evolución de señalización

## TRABAJO FUTURO MEDIO y LARGO PLAZO



# CONCEPTO OPERATIVO PRODUCTOS Y ENTORNOS DE TRABAJO





# indra



indra

## Julio Rives

Transporte y Tráfico / Tráfico ferroviario  
jrives@indra.es

Polígono Industrial 1  
Mar Egeo 4  
28030 San Fernando de Henares  
Madrid España  
T +34 669531415  
[www.indra.es](http://www.indra.es)

Sistemas Ferroviarios / CADIE+