

# Simulación Orientada a Individuos de un Servicio de Emergencias

Hayden Stainsby  
hstainsby@caos.uab.es

Director: Emilio Luque Fadón

Universitat Autònoma de Barcelona  
Department of Computer Architecture and Operation Systems (CAOS)



12 de Junio de 2009

# Resumen

Introducción

Estado del Arte

Objetivos

Planificación

Trabajo de Investigación

Conclusiones y Trabajo Futuro



# Resumen

Introducción

Estado del Arte

Objetivos

Planificación

Trabajo de Investigación

Conclusiones y Trabajo Futuro



# Introducción

## Aplicaciones

Modelos Orientados a Individuos  
(IoM)

Propagación de Incendios  
Forestales

Sistemas Multimedia (VoD)

## Entornos para Evaluación de Rendimiento y Sintonización de Aplicaciones

Framework para Programación

Análisis de Rendimiento y Sintonización

## Estrategias y Herramientas para la Gestión de Sistemas Distribuidos

Gestión de Recursos en Entornos  
Grid

Cluster Basado en Máquinas de  
Uso Compartido

Multiclustero Dedicado

## Arquitectura del Computado Paralelo

Arquitectura del Codo de  
Cómputo

Redes de Interconexión de Altas  
Prestaciones

Disponibilidad y Tolerancia a  
Fallos en Cluster

# Introducción

## Aplicaciones

Modelos Orientados a Individuos (IoM)

Propagación de Incendios Forestales

Sistemas Multimedia (VoD)

## Entornos para Evaluación de Rendimiento y Sintonización de Aplicaciones

Framework para Programación

Análisis de Rendimiento y Sintonización

## Estrategias y Herramientas para la Gestión de Sistemas Distribuidos

Gestión de Recursos en Entornos Grid

Cluster Basado en Máquinas de Uso Compartido

Multiclustero Dedicado

## Arquitectura del Computado Paralelo

Arquitectura del Codo de Cómputo

Redes de Interconexión de Altas Prestaciones

Disponibilidad y Tolerancia a Fallos en Cluster

# Introducción

## Aplicaciones

Modelos Orientados a Individuos  
(IoM)

Propagación de Incendios  
Forestales

Sistemas Multimedia (VoD)

## Entornos para Evaluación de Rendimiento y Sintonización de Aplicaciones

Framework para Programación

Análisis de Rendimiento y Sintonización

## Estrategias y Herramientas para la Gestión de Sistemas Distribuidos

Gestión de Recursos en Entornos  
Grid

Cluster Basado en Máquinas de  
Uso Compartido

Multiclustero Dedicado

## Arquitectura del Computado Paralelo

Arquitectura del Codo de  
Cómputo

Redes de Interconexión de Altas  
Prestaciones

Disponibilidad y Tolerancia a  
Fallos en Cluster

# Introducción

- ▶ El grupo de Modelos Orientados a Individuos
  - ▶ Trabaja con simulaciones de bancos de peces
    - ▶ Tipo único / modelo numérico (reglas de ecuaciones) - *Diego Mostaccio*
    - ▶ Tipo único / modelo difuso - *Juan Carlos González*
    - ▶ Varios tipos / universo con interacción / energía - *Roberto Solar*

# Introducción

- ▶ El grupo de Modelos Orientados a Individuos
  - ▶ Trabaja con simulaciones de bancos de peces
    - ▶ Tipo único / modelo numérico (reglas de ecuaciones) - *Diego Mostaccio*
    - ▶ Tipo único / modelo difuso - *Juan Carlos González*
    - ▶ Varios tipos / universo con interacción / energía - *Roberto Solar*
  - ▶ Colabora con un grupo que investiga simulaciones de evacuación de estadios
    - ▶ Personas / tipo único / universo con interacción

# Introducción

- ▶ Empezamos un nuevo proyecto de simulación: Servicio de Emergencias caracterizado por:
  - ▶ Varios tipos de individuos
  - ▶ Un universo con interacciones
  - ▶ Un modelo del comportamiento de ciertos aspectos de los individuos, guiados por el entorno



# Introducción

¿Por qué un Servicio de Emergencias?



# Introducción

## ¿Por qué un Servicio de Emergencias?

- ▶ Existen algunos ejemplos publicados de simulaciones de Servicios de Emergencias
- ▶ No hemos encontrado modelos con validación rigurosa
- ▶ No hay simulaciones que sean aplicables a más de un hospital
- ▶ No hay modelos que consideren los efectos de las interacciones sociales en estos servicios

# Introducción

¿Por qué usar un Modelo Orientado a Individuos?



# Introducción

¿Por qué usar un Modelo Orientado a Individuos?

- ▶ Para crear una representación de un Servicio de Emergencias más cercano a la realidad
- ▶ Para incluir los elementos sociales en el modelo
- ▶ Para crear un modelo formado por submodelos con reglas simples de interacción entre ellos

# Resumen

Introducción

Estado del Arte

Objetivos

Planificación

Trabajo de Investigación

Conclusiones y Trabajo Futuro



# Estado del Arte

- ▶ Usamos las técnicas de Modelado Orientado a Individuos para simular un Servicio de Emergencias
- ▶ No encontramos otros ejemplos de esta combinación
- ▶ Por eso, el estado del arte está dividido en dos secciones
  - ▶ Simulación en el ámbito de la gestión sanitaria
  - ▶ Modelos Orientados a Individuos

# Simulación en el Ámbito de la Gestión Sanitaria

- ▶ Se ha venido aplicando durante más de 30 años
- ▶ Se usa como una herramienta de ayuda a la toma de decisiones
- ▶ En la literatura predominan dos tipos de modelos
  - ▶ Dinámicas del sistema - *System Dynamics* (SD)
    - ▶ Ecuaciones diferenciales
    - ▶ Sistemas grandes (todo un hospital)  
Royston et al, 1984
  - ▶ Eventos discretos - *Discrete Event Simulation* (DES)
    - ▶ Sistema discretizado en variables y tiempo
    - ▶ Sistemas más pequeños (un departamento)  
Kolb et al, 2008  
Meng and Spedding, 2008  
Komashie and Mousavi, 2005

# Modelos Orientados a Individuos

- ▶ Están definidos por reglas de:
  - ▶ Comportamiento de los individuos
  - ▶ Interacción entre individuos
  - ▶ Interacción entre un individuo y el entorno
- ▶ La complejidad y el número de reglas depende del sistema que se modela, específicamente de los individuos del sistema

## Modelos Orientados a Individuos

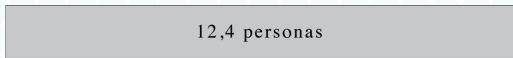
- ▶ Un modelo del tipo *System Dynamics* representa los objetos como una cantidad continua

12,4 personas

Sistema continuo

# Modelos Orientados a Individuos

- ▶ Un modelo del tipo *System Dynamics* representa los objetos como una cantidad continua
- ▶ Un modelo orientado a individuos representa cada individuo



Sistema continuo



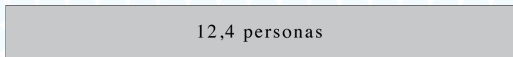
Sistema discreto

Homogéneo



# Modelos Orientados a Individuos

- ▶ Un modelo del tipo *System Dynamics* representa los objetos como una cantidad continua
- ▶ Un modelo orientado a individuos representa cada individuo
- ▶ Pero los individuos pueden ser de diferentes tipos



Sistema continuo



Sistema discreto

Homogéneo



Heterogéneo



# Resumen

Introducción

Estado del Arte

Objetivos

Planificación

Trabajo de Investigación

Conclusiones y Trabajo Futuro

# Introducción: El Problema de Complejidad

- ▶ Hasta ahora las simulaciones eran sólo de bancos de peces
- ▶ Ahora, estamos trabajando con simulaciones sociales



# Introducción: El Problema de Complejidad

- ▶ Hasta ahora las simulaciones eran sólo de bancos de peces
- ▶ Un pez es bastante sencillo
- ▶ Ahora, estamos trabajando con simulaciones sociales



# Introducción: El Problema de Complejidad

- ▶ Hasta ahora las simulaciones eran sólo de bancos de peces
- ▶ Un pez es bastante sencillo
- ▶ Ahora, estamos trabajando con simulaciones sociales
- ▶ Una persona es una entidad más compleja

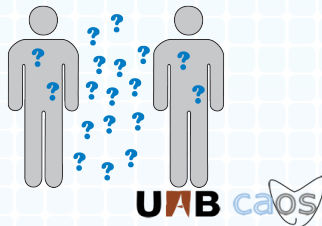


# Introducción: El Problema de Complejidad

- ▶ Hasta ahora las simulaciones eran sólo de bancos de peces
- ▶ Un pez es bastante sencillo



- ▶ Ahora, estamos trabajando con simulaciones sociales
- ▶ Una persona es una entidad más compleja
- ▶ Y las interacciones entre personas son todavía más complejas



# Introducción: El Problema de Complejidad

- ▶ Nos centraremos en el comportamiento de personas en un contexto específico
- ▶ Buscamos un entorno donde las personas se comporten siguiendo ciertas reglas...

# Introducción: El Problema de Complejidad

- ▶ Nos centraremos en el comportamiento de personas en un contexto específico
- ▶ Buscamos un entorno donde las personas se comporten siguiendo ciertas reglas...
  - ▶ excepto cuando no siguen las reglas

# Introducción: El Problema de Complejidad

- ▶ Nos centraremos en el comportamiento de personas en un contexto específico
- ▶ Buscamos un entorno donde las personas se comporten siguiendo ciertas reglas...
  - ▶ excepto cuando no siguen las reglas
- ▶ En un entorno de un Servicio de Emergencias, las personas cumplen ciertos roles

# Introducción: El Problema de Complejidad

- ▶ Nos centraremos en el comportamiento de personas en un contexto específico
- ▶ Buscamos un entorno donde las personas se comporten siguiendo ciertas reglas...
  - ▶ excepto cuando no siguen las reglas
- ▶ En un entorno de un Servicio de Emergencias, las personas cumplen ciertos roles



- ▶ Esto reduce la complejidad funcional de las interacciones

# Objetivos

1. Desarrollar una simulación válida de un Servicio de Emergencias



# Objetivos

1. Desarrollar una simulación válida de un Servicio de Emergencias
2. Determinar ciertos índices para describir el sistema
  - ▶ La capacidad de atención del sistema
  - ▶ El tiempo de espera medio antes de la fase de triaje
  - ▶ Los costes totales de todos los recursos

# Objetivos

1. Desarrollar una simulación válida de un Servicio de Emergencias
2. Determinar ciertos índices para describir el sistema
  - ▶ La capacidad de atención del sistema
  - ▶ El tiempo de espera medio antes de la fase de triaje
  - ▶ Los costes totales de todos los recursos
3. Usar la simulación para explorar las propiedades del sistema en la forma *¿qué pasa si...?*
  - ▶ ¿Qué pasa si ponemos un médico más en la fase de diagnóstico?
  - ▶ ¿Qué pasa si hay un 20% más de pacientes que el año anterior?
  - ▶ ¿Qué pasa si hay una epidemia de gripe porcina?

# Objetivos

4. Introducir el concepto de coste (economía) en el simulador como ayuda en el proceso de toma de decisiones
  - ▶ ¿Qué coste supondría introducir un médico más en la fase de diagnóstico?
  - ▶ ¿Cómo debería aumentar el presupuesto si hay un 20% más de pacientes que el año anterior?

# Objetivos

4. Introducir el concepto de coste (economía) en el simulador como ayuda en el proceso de toma de decisiones
  - ▶ ¿Qué coste supondría introducir un médico más en la fase de diagnóstico?
  - ▶ ¿Cómo debería aumentar el presupuesto si hay un 20% más de pacientes que el año anterior?
  - ▶ ¿Cuánto cuesta un vuelo a Madagascar? (donde no hay cerdos)

# Objetivos

4. Introducir el concepto de coste (economía) en el simulador como ayuda en el proceso de toma de decisiones
    - ▶ ¿Qué coste supondría introducir un médico más en la fase de diagnóstico?
    - ▶ ¿Cómo debería aumentar el presupuesto si hay un 20% más de pacientes que el año anterior?
    - ▶ ¿Cuánto cuesta un vuelo a Madagascar? (donde no hay cerdos)
  5. Usar la simulación para buscar posibles mejoras en el sistema
    - ▶ Búsqueda exhaustiva de combinaciones de parámetros
- ↓
- ▶ Necesidad de grandes recursos computacionales

# Resumen

Introducción

Estado del Arte

Objetivos

Planificación

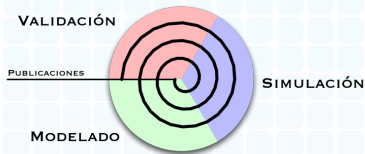
Trabajo de Investigación

Conclusiones y Trabajo Futuro

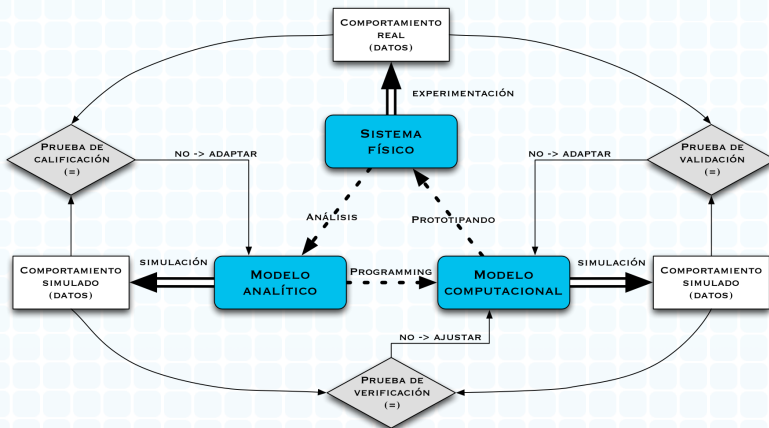


# Desarrollo de la Simulación

- ▶ El método de desarrollo que usamos tiene un enfoque en la creación de una simulación verificada y válida
  - ▶ Un enfoque guiado por el modelo
- ▶ Es un método en forma de espiral
- ▶ Al final de cada de las vueltas, tendremos una simulación válida (y un trabajo publicable)

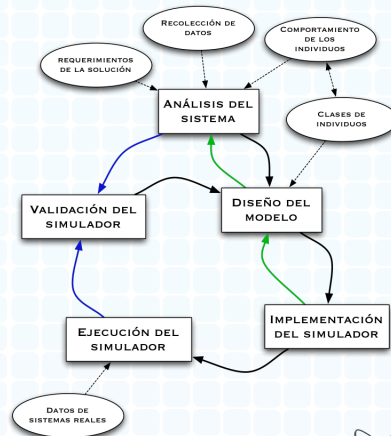


# Enfoque Guiado por el Modelo



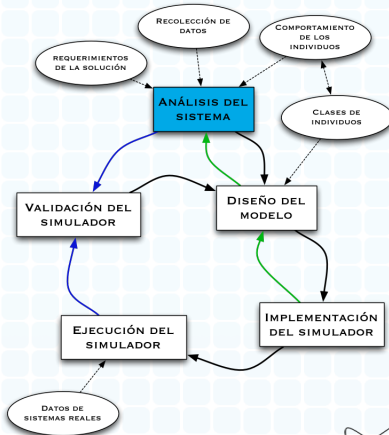
# Desarrollo de la Simulación

- ▶ **Análisis del sistema**
  - ▶ Requerimientos de la solución
  - ▶ Recolección de datos
  - ▶ Clases de individuos
  - ▶ Comportamiento de los individuos



# Desarrollo de la Simulación

- ▶ **Análisis del sistema**
  - ▶ Requerimientos de la solución
  - ▶ Recolección de datos
  - ▶ Clases de individuos
  - ▶ Comportamiento de los individuos



# Desarrollo de la Simulación

- ▶ **Análisis del sistema**
  - ▶ Requerimientos de la solución
  - ▶ Recolección de datos
  - ▶ Clases de individuos
  - ▶ Comportamiento de los individuos
- ▶ **Diseño del modelo**



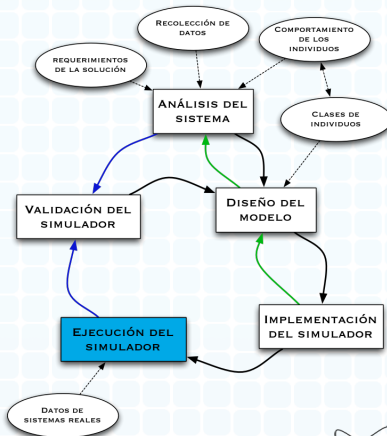
# Desarrollo de la Simulación

- ▶ **Análisis del sistema**
  - ▶ Requerimientos de la solución
  - ▶ Recolección de datos
  - ▶ Clases de individuos
  - ▶ Comportamiento de los individuos
- ▶ **Diseño del modelo**
- ▶ **Implementación del simulador**



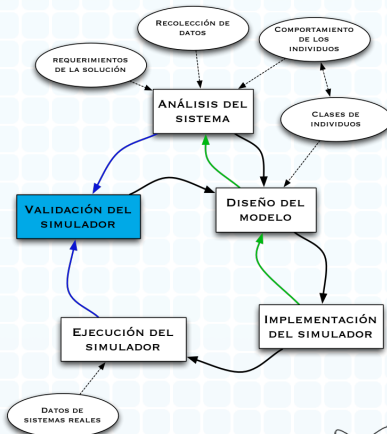
# Desarrollo de la Simulación

- ▶ **Análisis del sistema**
  - ▶ Requerimientos de la solución
  - ▶ Recolección de datos
  - ▶ Clases de individuos
  - ▶ Comportamiento de los individuos
- ▶ **Diseño del modelo**
- ▶ **Implementación del simulador**
- ▶ **Ejecución del simulador**
  - ▶ Datos de sistemas reales



# Desarrollo de la Simulación

- ▶ **Análisis del sistema**
  - ▶ Requerimientos de la solución
  - ▶ Recolección de datos
  - ▶ Clases de individuos
  - ▶ Comportamiento de los individuos
- ▶ **Diseño del modelo**
- ▶ **Implementación del simulador**
- ▶ **Ejecución del simulador**
  - ▶ Datos de sistemas reales
- ▶ **Validación del simulador**



# Resumen

Introducción

Estado del Arte

Objetivos

Planificación

Trabajo de Investigación

Conclusiones y Trabajo Futuro



# El Sistema de un Servicio de Emergencias

- ▶ A través de una serie de entrevistas se realizó el análisis del sistema
  - ▶ Una primera entrevista con una enfermera de triaje del hospital de Mataró

# El Sistema de un Servicio de Emergencias

- ▶ A través de una serie de entrevistas se realizó el análisis del sistema
    - ▶ Una primera entrevista con una enfermera de triaje del hospital de Mataró
- ↓
- ▶ A partir de la información obtenida surge un “dibujo” general del Servicio de Emergencias

# El Sistema de un Servicio de Emergencias

- ▶ A través de una serie de entrevistas se realizó el análisis del sistema
  - ▶ Una primera entrevista con una enfermera de triaje del hospital de Mataró



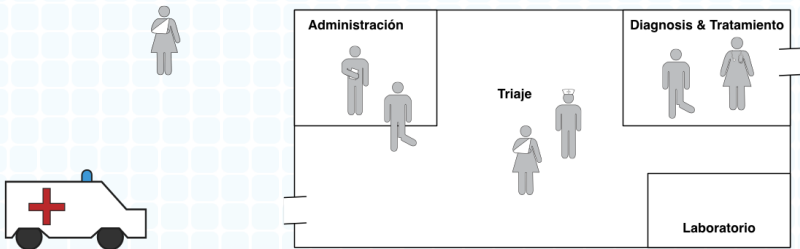
- ▶ A partir de la información obtenida surge un “dibujo” general del Servicio de Emergencias



- ▶ El “dibujo” incluye las entradas y salidas de los pacientes y las interacciones entre individuos (dónde se producen y qué individuos se relacionan)

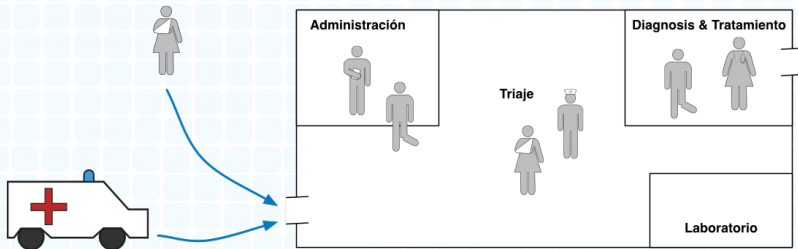
# El Sistema de un Servicio de Emergencias

Representación de un servicio de emergencias



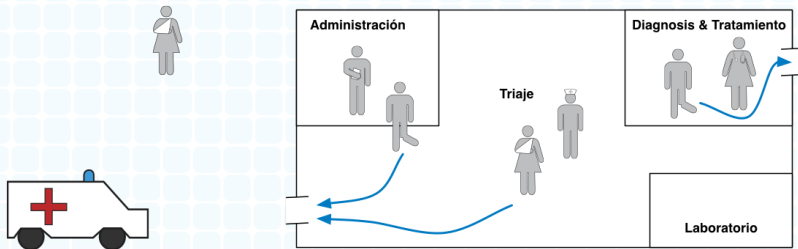
# El Sistema de un Servicio de Emergencias

## Caminos de entrada de los pacientes



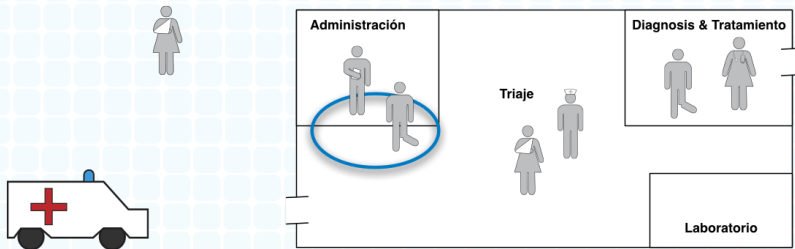
# El Sistema de un Servicio de Emergencias

## Caminos de salida de los pacientes



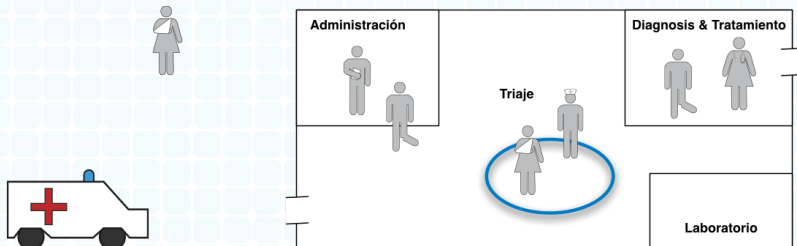
# El Sistema de un Servicio de Emergencias

## Interacciones entre los individuos



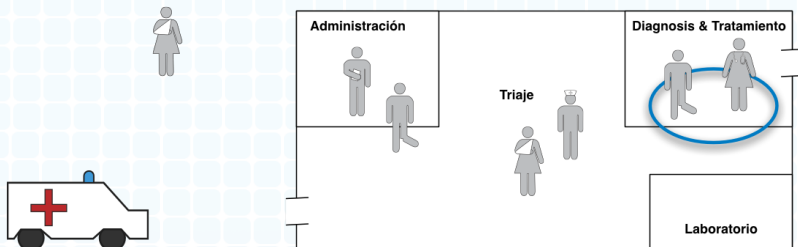
# El Sistema de un Servicio de Emergencias

## Interacciones entre los individuos



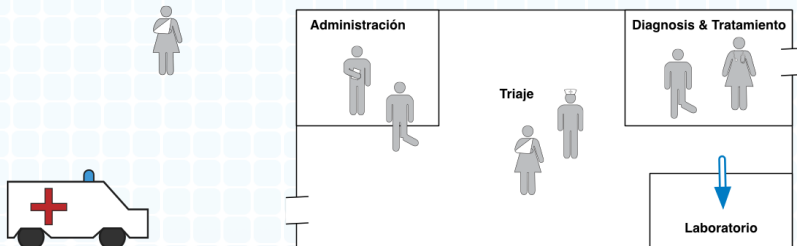
# El Sistema de un Servicio de Emergencias

## Interacciones entre los individuos



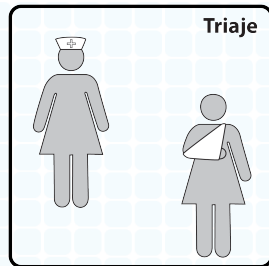
# El Sistema de un Servicio de Emergencias

Operaciones sin interacciones de los individuos



# La Fase de Triage

- ▶ Un/a enfermero/a examina al paciente
- ▶ El enfermero usa algún método para asignar un nivel de gravedad del paciente
  - ▶ El método cambia según el hospital
  - ▶ En Mataró se usa un sistema experto, aunque los enfermeros pueden cambiar el resultado
- ▶ Después del triaje el paciente espera la fase de diagnóstico (donde intervienen los médicos)



# La Fase de Triage

► Hay cinco niveles de gravedad del paciente

1 representa los dolencias menores

⋮

5 representa las heridas o las dolencias que pueden causar la muerte del paciente en cualquier momento



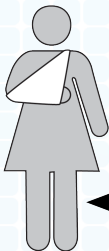
# La Fase de Triage

► Hay cinco niveles de gravedad del paciente

1 representa los dolencias menores

⋮

5 representa las heridas o las dolencias que pueden causar la muerte del paciente en cualquier momento



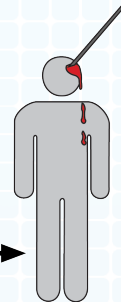
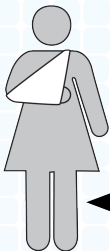
# La Fase de Triage

► Hay cinco niveles de gravedad del paciente

1 representa los dolencias menores

⋮

5 representa las heridas o las dolencias que pueden causar la muerte del paciente en cualquier momento



# El Modelo Global

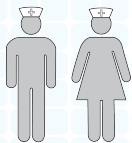
- ▶ Hemos definido las clases de individuos y formalizamos las interacciones entre ellos



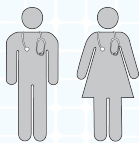
- ▶ El modelo global está constituido por múltiples modelos concretos
- ▶ Estos modelos concretos representan las etapas de las interacciones en que participan los pacientes

# Clases de Individuos

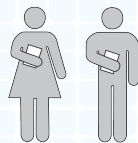
Al principio hemos encontrado cinco clases de individuos:



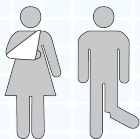
Enfermeros ( $\eta$ )



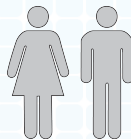
Médicos ( $\delta$ )



Administrativos ( $\alpha$ )



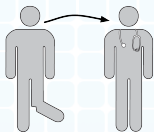
Pacientes ( $\rho$ )



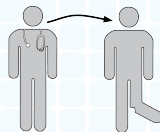
Acompañantes de Pacientes ( $\varsigma$ )

# Interacción entre individuos

- ▶ Se denota por la función  $I(x, y)$
- ▶ Es posible que la interacción tenga reglas diferentes según la persona que empieza esta interacción
  - ▶ La interacción entre un médico y un paciente es diferente si la empieza el paciente  $I(\rho, \delta)$  o si la empieza el médico  $I(\delta, \rho)$



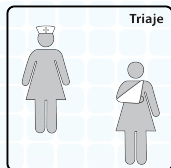
$I(\rho, \delta)$



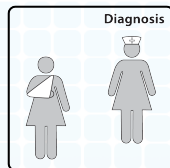
$I(\delta, \rho)$

# Interacción entre individuos

- ▶ Además las interacciones son distintas dependiendo del entorno donde tengan lugar
- ▶ Extendemos la función de interacción para incluir la localización  $I(x, y, \langle loc \rangle)$

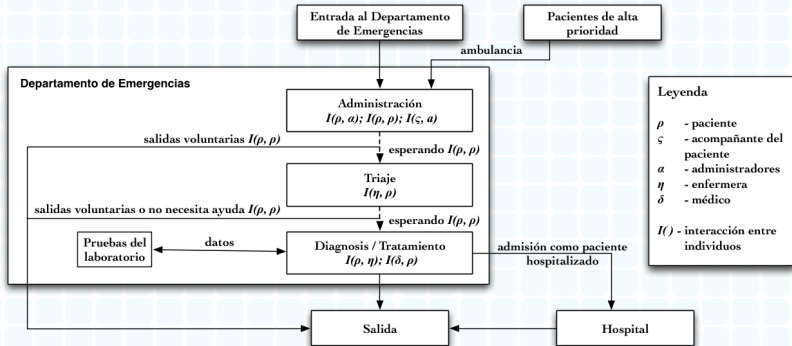


$I(\rho, \eta, \langle triaje \rangle)$



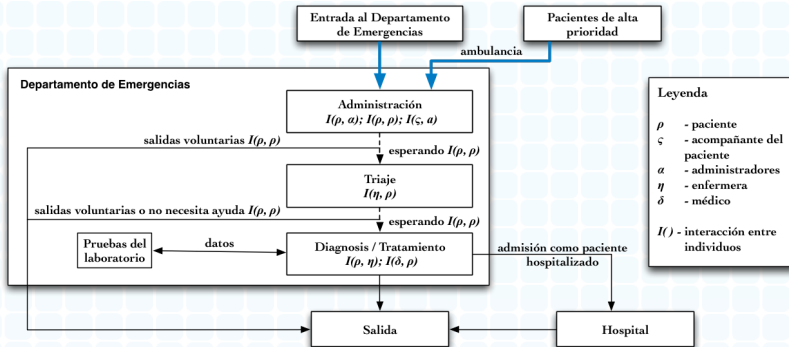
$I(\rho, \eta, \langle diagnosis \rangle)$

# El Modelo Global



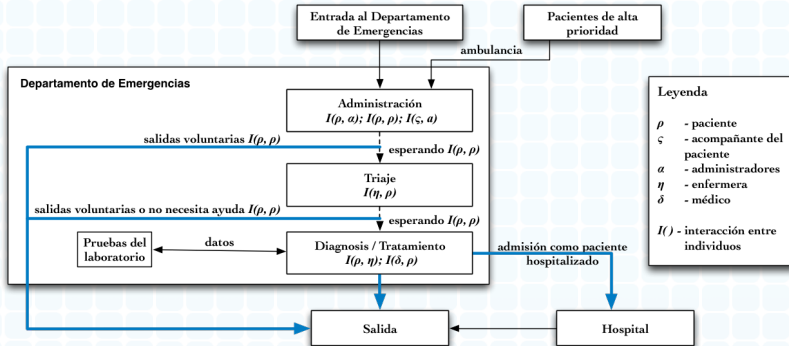
# El Modelo Global

## Entradas al Servicio de Emergencias



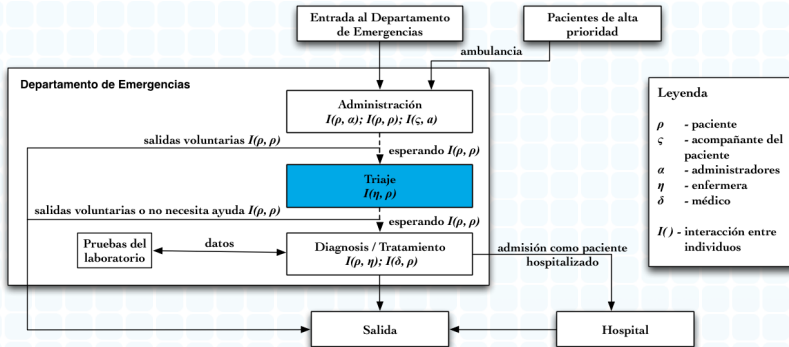
# El Modelo Global

## Salidas del Servicio de Emergencias



# El Modelo Global

## Fase de Triage



# Resumen

Introducción

Estado del Arte

Objetivos

Planificación

Trabajo de Investigación

Conclusiones y Trabajo Futuro



# Conclusiones Preliminares

- ▶ Hemos empezado a trabajar con un nuevo tipo de simulación
- ▶ Estamos usando el conocimiento de sociólogos y profesionales de un departamento de emergencias
- ▶ Crearemos un modelo y haremos una simulación de un servicio de emergencias
  
- ▶ Ya tenemos:
  - ▶ Un análisis del sistema
  - ▶ Un primer modelo general

# Trabajo Futuro

## Modelo

- ▶ Continuar con el análisis del sistema
- ▶ Formalizar un modelo concreto de la fase de triaje
- ▶ Definir las interacciones de individuos

## Simulación

- ▶ Diseñar y desarrollar el simulador (usando el modelo definido)
- ▶ Verificar la simulación contestando datos reales

Gracias por vuestra atención  
¿Sugerencias, preguntas, comentarios?

