

# T6. AGENT BASED MODELLING (ABM)

AGENTES Y SISTEMAS MULTIAGENTE

*Fidel Aznar Gregori*

---

Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial. Universidad  
de Alicante

# INDICE

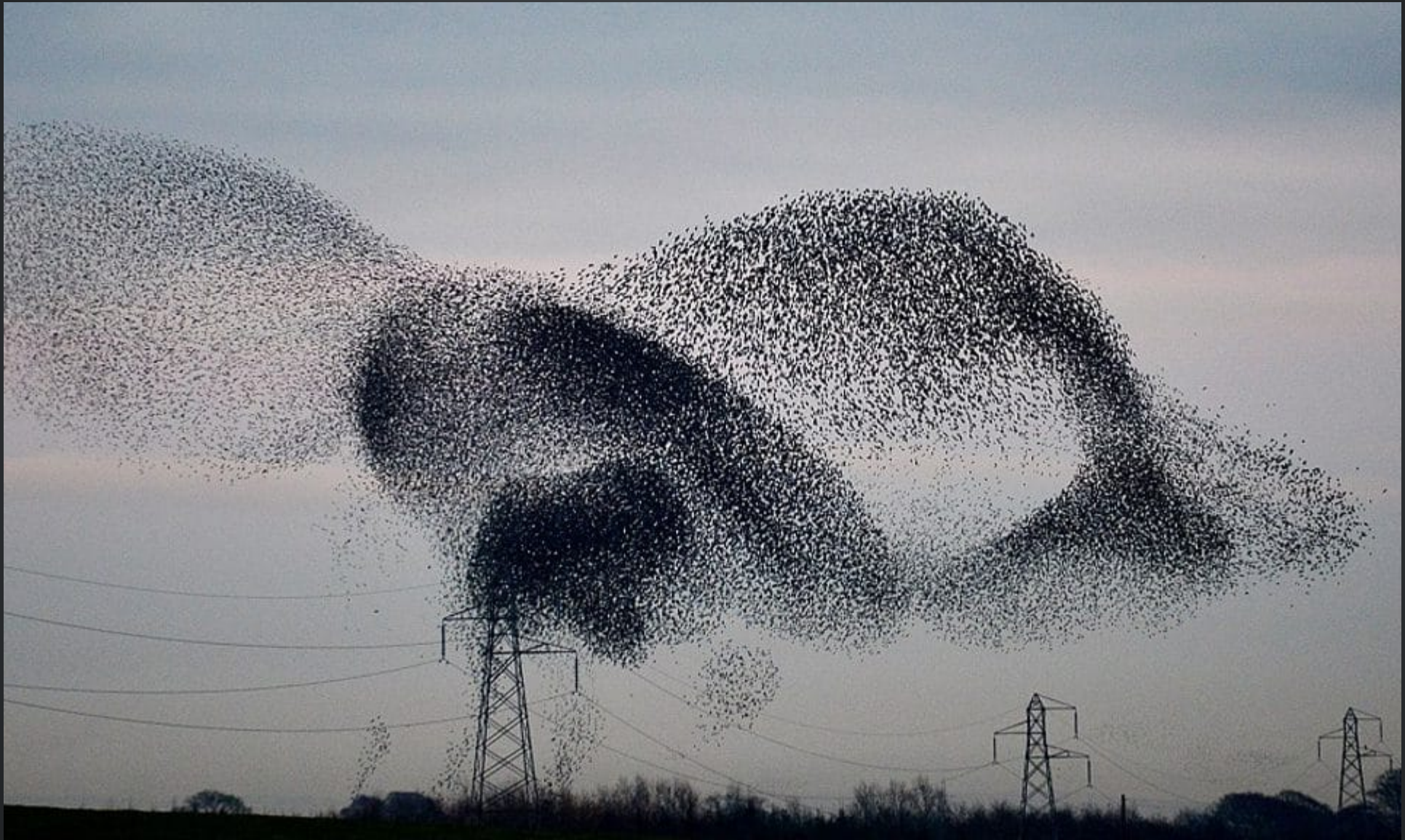
- Introducción
- Historia
- Características del ABM
- Modelado en ABM
- Representaciones
- ODD
- Alternativas al modelado basado en agentes
- Ventajas y desventajas ABM

# INTRODUCCIÓN

¿Cual es el interés de los sistemas multi-agente?

- Sistemas complejos donde:
  - Hay multitud de entidades artificiales o naturales
  - Las entidades interactúan y producen comportamiento colectivo
  - El modelo **microscópico** no es suficiente para predecir el comportamiento global
  - Se estudia fundamentalmente el comportamiento **macroscópico**







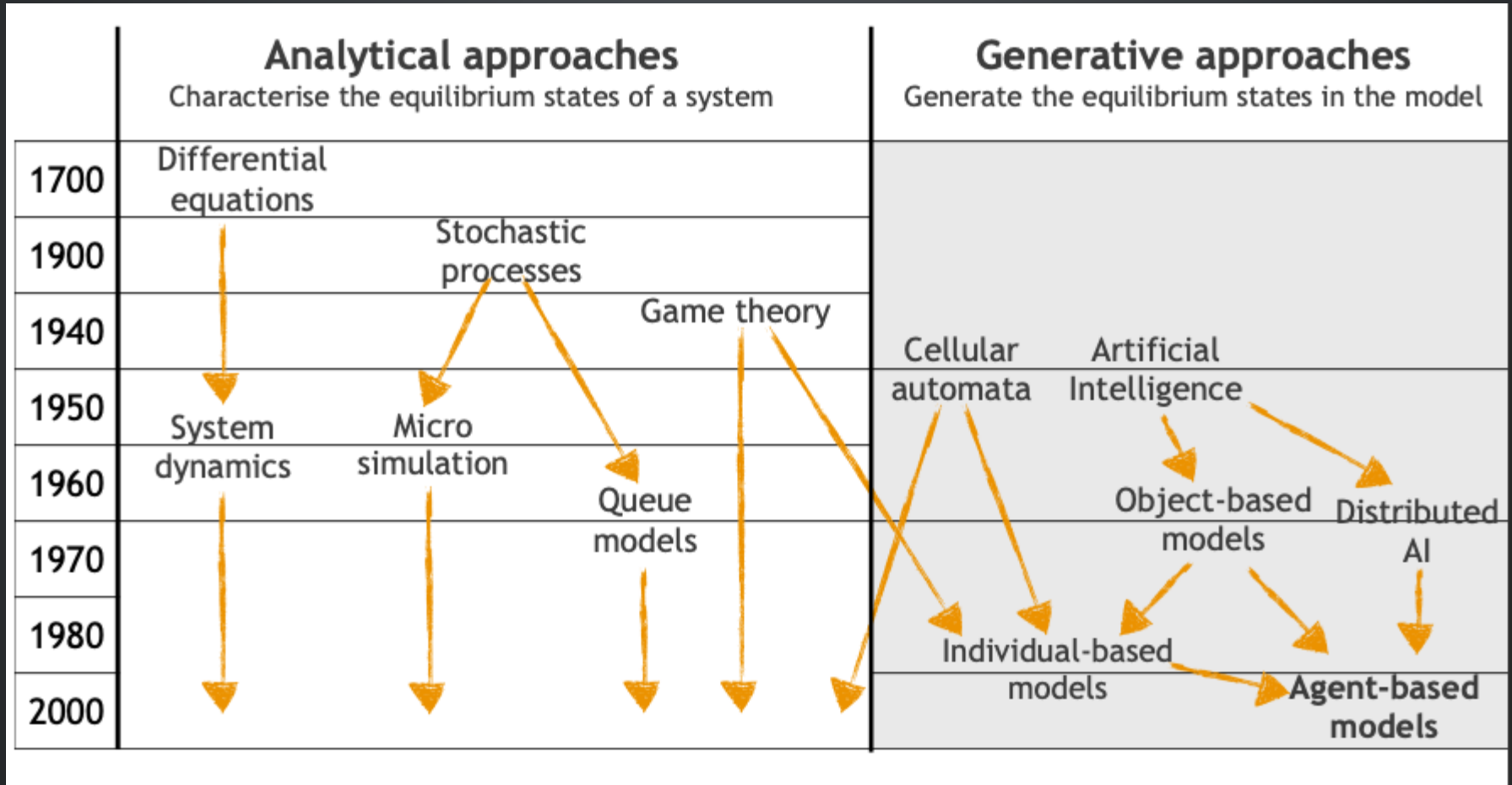








# HISTORIA





# CARACTERÍSTICAS DE LOS ABM

- Versátiles y Heterogéneos
  - Los agentes pueden representar cualquier objeto o agregación de objetos del sistema de referencia
- Agnósticos
  - Se pueden programar en cualquier lenguaje
  - Se puede usar cualquier arquitectura
- Generativos
  - Trabajan a nivel microscópico
  - Permiten obtener información a nivel macroscópico

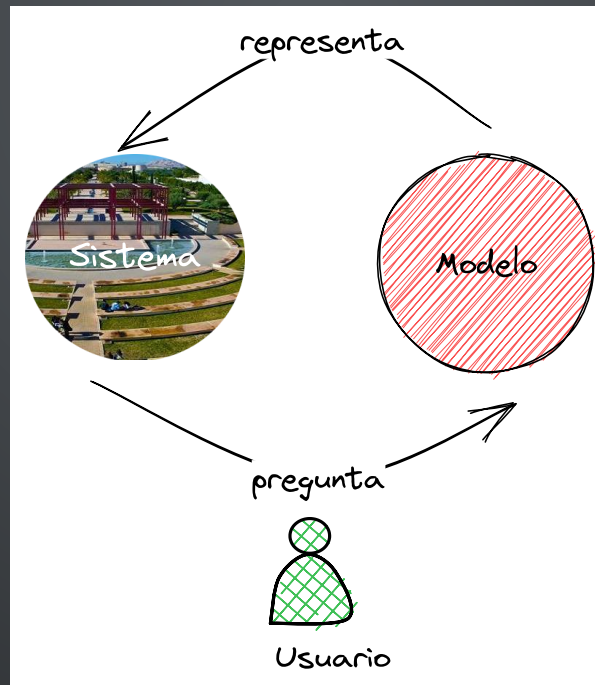
# SISTEMA, MODELO Y SIMULACIÓN

- ¿Cómo se diseña un ABM?
- ¿Qué partes lo forman?
- ¿Cómo se representa la realidad?



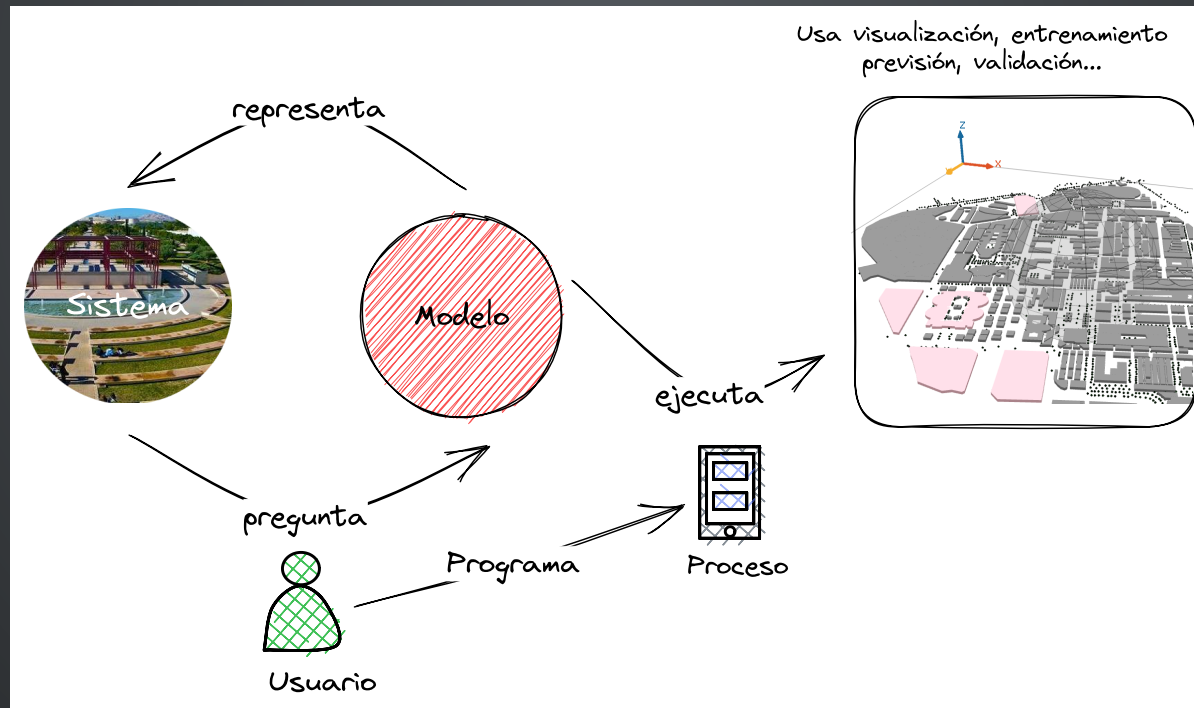
# MODELO Y SISTEMA

- Un *modelo* es una versión simplificada de un *sistema de referencia*
- Se diseña para facilitar preguntar a ese sistema
- Multitud de maneras de *representar* el sistema



# SIMULACIÓN

- La ejecución del modelo mediante un computador se llama *simulación*
- La *simulación* tiene multitud de usos y aplicaciones





# MODELADO EN ABM (I)

*The goal of science is to make the wonderful and the complex understandable and simple - but not less wonderful. - Simon, 1996. The Sciences of the Artificial (3rd edn). Cambridge, MA: MIT Press.*

# MODELADO EN ABM(II)

- Requerimos métodos para capturar y regenerar las características complejas del entorno
- Modelado microscópico/macrocópico
- ¿Qué es un modelo?
  - Versión simplificada de un sistema
  - Descripción teorica de como funciona un sistema
    - Matemáticamente
    - Computacionalmente
  - Son una idealización y estructuración de la teoría



# MODELADO EN ABM(III)

- Razones para modelar
  - Descripción de un sistema
  - Explicación de su funcionamiento
  - Predicción...

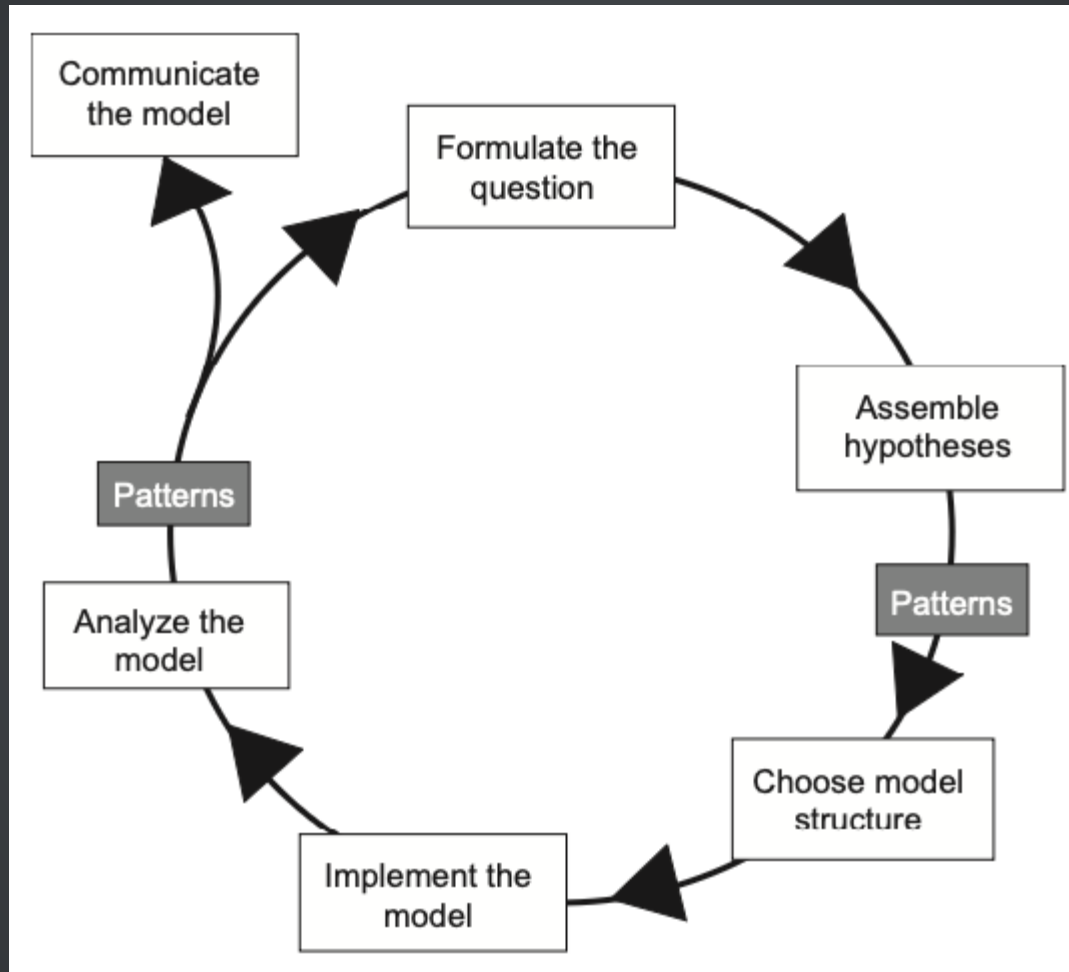
# EL CICLO DE MODELADO (I)

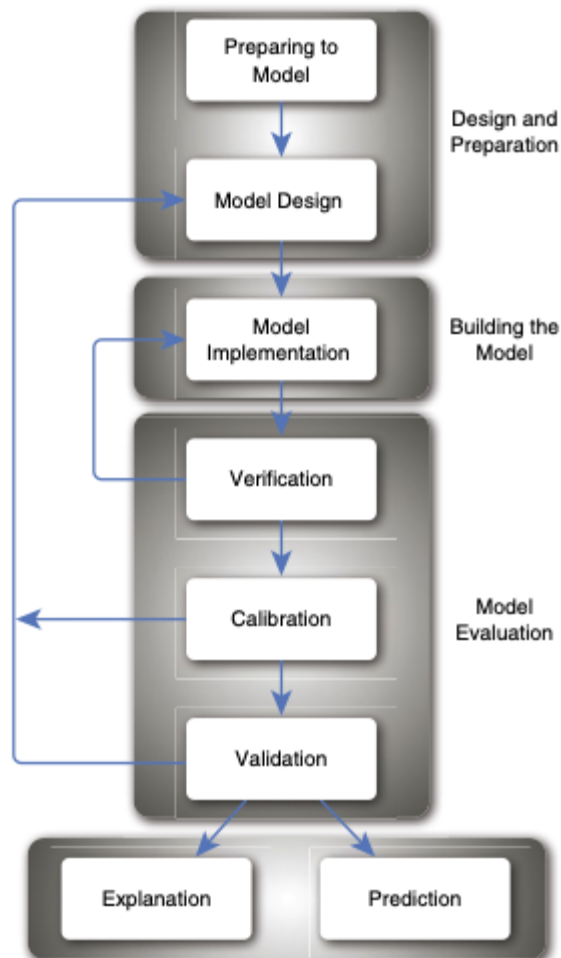
- Un modelado científico requiere un modelado matemático y computacional para determinar las consecuencias de la simplificación del modelo.
- Requiere la iteración ágil por varios prototipos
  - Formular las preguntas apropiadas
  - Hipótesis para los procesos y estructuras esenciales



## EL CICLO DE MODELADO (II)

- Requiere la iteración ágil por varios prototipos
  - Elección de escalas, entidades, variables, procesos y parámetros
  - Implementación
  - Análisis, pruebas y revisión del modelo
  - Comunicación del modelo





Running the Model and Understanding Insights



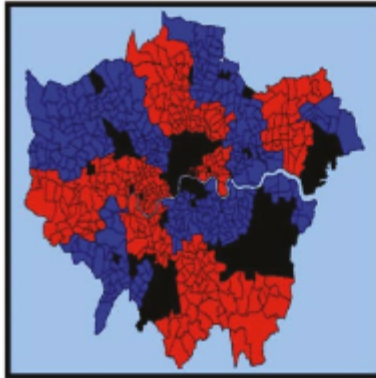
# REPRESENTACIONES DEL MODELO

- Inicialmente uso de tipos básicos para simplificar los modelos
- Actualmente muchos datos disponibles, algunos de ellos con estructuras complejas
- Son fundamentales para determinar el *mundo* (*entorno*) del modelo

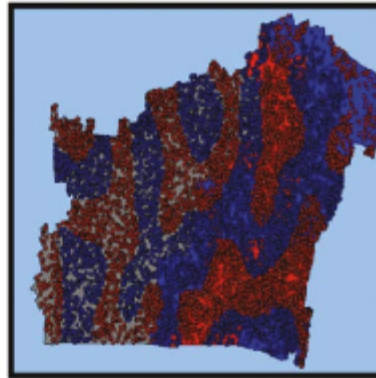
# EL MUNDO

Es el lugar donde se ejecuta la simulación. Contiene no solo las especificaciones físicas sino también las reglas de comportamiento de los objetos que lo forman.

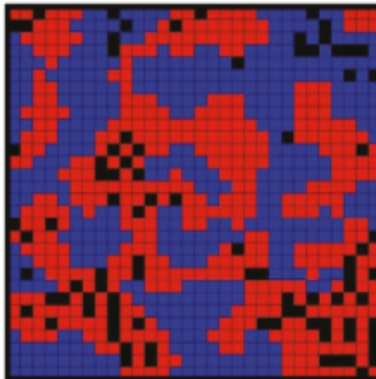
- Deberíamos poder responder a:
  - ¿Que es exógeno al modelo?
  - ¿Cómo se representa el espacio? ¿Y el tiempo?
  - ¿Qué agentes lo forman?
  - ¿Qué reglas físicas forman parte de él?



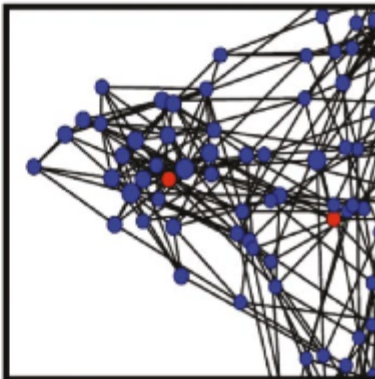
Geographic Space



Continuous Space



Cellular Space



Topological Space



# REPRESENTACIONES TEMPORALES

- Los agentes son dinámicos pero se asumirá que existe una unidad de tiempo mínima *step*.
- En cada *step* los agentes podrán ejecutar las acciones que requieran
- Los agentes no tienen porqué seguir un mismo orden en cada *iteración* de la simulación...
- Características de un paso de simulación (*step*)
  - Debe capturar todo lo que requiera nuestra simulación
  - Debe ser lo más corto posible
  - Es el mismo para todos los agentes
- Afecta a la visualización y la simulación

# COMUNICACIÓN

Los agentes se pueden comunicar entre sí. Cuestiones a tener en cuenta:

- Distancia de comunicación
- Conectividad
- Pérdida de información
- Comunicación indirecta o directa
- ¿Todos los agentes pueden comunicar?
- Ontologías, protocolos...

# Y TAMBIÉN

A tener en cuenta:

- Cómo se intercambian recursos entre los agentes
- Cómo se modela el comportamiento de los agentes
  - Arquitecturas
  - Acciones
  - Especies



# EL PROTOCOLO ODD (I)

- Es complicado establecer y comunicar todas las características necesarias del modelo
  - Una descripción incompleta elimina la *replicabilidad*
  - Un modelo no reproducible no es científico
- La descripción textual puede ser larga y farragosa
- [Grimm et al. 2006] proponen el protocolo ODD para describir modelos basados en agentes.
- ODD proporciona una manera estándar para pensar y describir problemas ABM.

# EL PROTOCOLO ODD (II)

Parte de tres elementos:

- Una visión general del modelo
- Continúa con las cuestiones básicas de diseño del ABM
- Termina con los detalles necesarios para describirlo completamente

Elements of the ODD protocol	
Overview	1. Purpose and patterns
	2. Entities, state variables, and scales
	3. Process overview and scheduling
Design concepts	4. Design concepts <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic principles</li> <li>• Emergence</li> <li>• Adaptation</li> <li>• Objectives</li> <li>• Learning</li> <li>• Prediction</li> <li>• Sensing</li> <li>• Interaction</li> <li>• Stochasticity</li> <li>• Collectives</li> <li>• Observation</li> </ul>
Details	5. Initialization
	6. Input data
	7. Submodels

# ODD. OVERVIEW (I)

## 1. Proposito y patrones

- ¿Qué problema trata el modelo?
- ¿Qué intentamos aprender con el modelo? Ser todo lo específico posible.
- ¿Qué sistemas estamos modelando?
- ¿Qué patrones se espera encontrar en el modelo? ¿Cuales hay en la literatura? ¿Para que son útiles?



# ODD. OVERVIEW (II)

## 2. Entidades, variables de estado y escalas

- ¿Qué entidades representa el modelo?
  - Tipos de agentes, entornos...
- Las entidades se caracterizan en un momento dado por su *variable de estado*
  - Incluye todas las propiedades de la entidad
  - Algunas son estáticas durante la simulación
  - No pueden ser calculadas a partir de otras
- Escalas: temporales y espaciales

# ODD. OVERVIEW (III)

## 3. Dinámica del proceso

- ¿Qué hacen las entidades durante la simulación?
- ¿Qué comportamientos ejecutan los agentes en cada *step*?
- ¿Qué actualizaciones se realizan en el entorno?
- El proceso observador
- En que orden se ejecutan los procesos (agentes, mundo...) en la simulación - *scheduler*

# DESIGN CONCEPTS

	Elements of the ODD protocol
Overview	1. Purpose and patterns
	2. Entities, state variables, and scales
	3. Process overview and scheduling
Design concepts	4. Design concepts <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic principles</li> <li>• Emergence</li> <li>• Adaptation</li> <li>• Objectives</li> <li>• Learning</li> <li>• Prediction</li> <li>• Sensing</li> <li>• Interaction</li> <li>• Stochasticity</li> <li>• Collectives</li> <li>• Observation</li> </ul>
Details	5. Initialization
	6. Input data
	7. Submodels

# ODD. DESIGN CONCEPTS (I)

## 1. Principios básicos:

- ¿Cuáles son los conceptos, teorías, hipótesis o enfoques de modelado generales que sustentan el diseño del modelo?
- ¿Cómo se relaciona el modelo con el estado del arte?
- ¿Cómo se incorporaron estos principios en el diseño del modelo?
- ¿El modelo implementa los principios en su diseño o los aborda como tema de estudio, por ejemplo, evaluando y proponiendo alternativas a ellos?



## ODD. DESIGN CONCEPTS (II)

### 2. Emergencia :

- ¿Cuáles son los resultados y salidas importantes del modelo?
- ¿Cuáles de ellos surgen de la representación mecanicista del comportamiento adaptativo de los individuos
- ¿cuáles son impuestos por reglas que obligan al modelo a producir ciertos resultados?

# ODD. DESIGN CONCEPTS (III)

## 3. Adaptación :

- ¿Qué c. adaptativos tienen los agentes y pq?
- ¿Como responden a los cambios en su entorno y en ellos mismos? ¿Qué decisiones toman?
- ¿Cómo se modelan estos comportamientos?
  - ¿Asumen que los agentes eligen entre alternativas considerando explícitamente cuál es más probable que aumente algún objetivo específico ?
  - ¿O simplemente obligan a los agentes a reproducir patrones de comportamiento observados en sistemas reales?

# ODD. DESIGN CONCEPTS (IV)

## 4. Objetivos (I) :

- ¿Qué medida de los objetivos del agente se utiliza para evaluar las alternativas de decisión? ¿Esta medida objetiva es el modelo interno del agente de cómo se beneficiaría de cada elección que pudiera hacer?
- ¿Qué elementos del éxito futuro están en la medida objetiva ?
- ¿Cómo representa la medida objetiva los procesos que vinculan los comportamientos adaptativos con variables importantes de los agentes y su entorno?

# ODD. DESIGN CONCEPTS (V)

## 4. Objetivos (II) :

- ¿Cómo se eligieron las variables y mecanismos en la medida objetiva (por ejemplo, riesgos de mortalidad o de salir del negocio, las condiciones necesarias para la reproducción o la rentabilidad), considerando el propósito del modelo y el sistema real que representa?
- ¿Cómo se considera el estado interno actual del agente en el modelado?



- ¿La medida objetiva cambia a medida que cambia el agente?

## ODD. DESIGN CONCEPTS (VI)

### 5. Aprendizaje :

- ¿Los individuos cambian la forma en que toman decisiones adaptativas con el tiempo como consecuencia de su experiencia? Si es así, ¿cómo?

# ODD. DESIGN CONCEPTS (VII)

## 6. Predicción:

- ¿Cómo predicen los agentes las condiciones futuras (ambientales e internas) en sus submodelos de comportamiento adaptativo?
- ¿Qué supuestos o mecanismos de los individuos reales que se modelan fueron la base para modelar la predicción?
- ¿Cómo utiliza la predicción simulada los mecanismos como la memoria, el aprendizaje o las señales ambientales?
- ¿O es la predicción "tácita"?

# ODD. DESIGN CONCEPTS (VIII)

## 7. Percepción:

- ¿Qué variables de su entorno y de sí mismos detectan los agentes e incluyen en su comportamiento? ¿Porqué?
- ¿Qué mecanismos de detección se modelan explícitamente, y qué variables detectadas se supone que los agentes simplemente "conocen"?
- ¿Con qué precisión o incertidumbre se supone que los agentes "conocen" o detectan las variables? ¿A qué distancias (en espacio geográfico, de red u otro)?



# ODD. DESIGN CONCEPTS (IX)

## 8. Interacción:

- ¿Cómo interactúan los agentes del modelo?  
¿Interactúan directamente entre sí (por ejemplo, un agente cambia directamente el estado de otros)? ¿O la interacción es mediada, como a través de la competencia por un recurso?
- ¿Con qué otros agentes interactúa un agente?
- ¿En qué mecanismos de interacción reales se basa la representación de interacción del modelo? ¿A qué escalas espaciales y temporales ocurren?

# ODD. DESIGN CONCEPTS (X)

## 9. Aleatoriedad:

- ¿Cómo se utilizan los procesos estocásticos (basados en números pseudoaleatorios) en el modelo y por qué?
- ¿Se utilizan procesos estocásticos para inicializar el modelo?
- ¿Porque se considera importante que algunos procesos sean variables pero no es importante representar las causas de la variabilidad?
- ¿Para reproducir comportamientos observados utilizando probabilidades determinadas empíricamente?

# ODD. DESIGN CONCEPTS (XI)

## 10. Agregación:

- ¿Se representan agregaciones de agentes que afectan el estado o el comportamiento de los agentes miembros y son afectados por ellos en el modelo?
- Si es así, ¿cómo se representan los grupos?  
¿Surgen de los comportamientos de los agentes, o se les dan a los agentes submodelos de comportamiento que imponen la formación de grupos?
- ¿O se modelan como otro tipo de agentes?

# ODD. DESIGN CONCEPTS (XII)

## 11. Observaciones:

- ¿Qué salidas del modelo son necesarias para observar su dinámica interna y su comportamiento a nivel del sistema?
- ¿Qué herramientas son necesarias para obtener estas salidas?
- ¿Qué salidas y análisis son necesarios para probar el modelo frente a los criterios de utilidad, generalmente definidos en "Propósito y patrones"?
- ¿Qué salidas son necesarias para resolver el problema para el que se diseñó el modelo?

# DETALLES

Elements of the ODD protocol	
Overview	1. Purpose and patterns
	2. Entities, state variables, and scales
	3. Process overview and scheduling
Design concepts	4. Design concepts <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic principles</li> <li>• Emergence</li> <li>• Adaptation</li> <li>• Objectives</li> <li>• Learning</li> <li>• Prediction</li> <li>• Sensing</li> <li>• Interaction</li> <li>• Stochasticity</li> <li>• Collectives</li> <li>• Observation</li> </ul>
Details	5. Initialization
	6. Input data
	7. Submodels



## ODD. INICIALIZACIÓN

- Condiciones iniciales
- Tener en cuenta que a veces el resultado del modelo dependerá de la condición inicial

## ODD. DATOS DE ENTRADA

- Datos de entrada dinámicos, externos de la simulación, de los que se nutre el modelo:
  - temperatura actual,
  - precios de la bolsa,
  - flujo de la red...

## ODD. SUBMODELOS

- Submodelos (procesos) descritos en el apartado 3 descritos en detalle
- Razonar porqué se ha descrito de esa manera concreta
- Condiciones requeridas para que el submodelo sea funcional.

# ALTERNATIVAS AL ABM

- Automatas celulares
- DES (Simuladores de estado discretos)
- Dinámica de sistemas
- ...

# VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL ABM (I)

## VENTAJAS

- Hipótesis expresadas a nivel individual
- Modelización de la evolución del sistema
- Los modelos son objetos experimentales (simulación)



# VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ABM (II)

## INCONVENIENTES

- Dificultad de la reproducción de la complejidad del real (relación micro/macro)
- Dificultad para comprender cómo se han producido los resultados
- Validación

# APLICABILIDAD

Aplicar cuando:

1. Es difícil comprobar hipótesis basadas únicamente en observaciones del sistema de referencia
2. Los actores de un sistema de referencia son heterogéneos
3. Es posible identificar niveles/organizaciones intermedias que influyen en la dinámica del sistema de referencia
4. La relación entre análisis y observación no es fija
5. Los cambios a nivel macro deben ser resultados, y no inputs, del modelo

# REPRODUCCION DE LAS MARIPOSAS

## UN EJEMPLO DE MODELADO CON ODD

Pe'er et al. (2005). Sistema extremadamente sencillo y real: búsqueda de pareja por parte de las mariposas

*En muchas especies de mariposas, los machos y las hembras sin pareja aplican una estrategia de búsqueda local: simplemente se mueven hacia arriba hasta concentrarse en las cimas de las montañas donde pueden aparearse.*

## UN EJEMPLO DE MODELADO CON ODD (II)

- ¿Cómo se desplazan las mariposas?
- ¿Emergen caminos de desplazamiento hacia las colinas?

*Ejercicio: ¿cómo lo modelamos mediante ODD?*

# BIBLIOGRAFÍA

- **Agent-Based Modelling and Geographical Information System. A Practical Primer.** - Andrew Crooks et al. Ed Manley Alison. SAGE 2018.
- **Agent-Based and Individual-Based Modeling A Practical Introduction-** Steven F. Railsback et al. Princeton University Press (2019).
- <https://gama-platform.org/wiki/Pedagogical-Materials>