

Guía práctica de modelación participativa

Juegos, mapeo de sistemas y modelación basada en agentes

Alejandro E. Morales

Programa de Doctorado en Ciencias con especialidad en
Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad,
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
México

Blanca Luque Capellas

TISSS Lab, Johannes Gutenberg Universität
Alemania

Jesús M. Siqueiros¹

Unidad Académica del IIMAS en el Estado de Yucatán, IIMAS, UNAM
Centro de Ciencias de la Complejidad, UNAM
Universidad Nacional Autónoma de México
México

¹Autores por orden alfabético.

©2023 Jesús M. Siqueiros - jmario.siqueiros@iimas.unam.mx

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 License.

To view a copy of this license visit:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>.



Índice general

Introducción	3
¿Cuál es el objetivo de la guía?	3
¿A quién está dirigida esta guía?	5
¿Qué ofrece esta guía?	5
Gamificación y juegos serios	6
¿Por qué gamificación?	7
¿Qué es la gamificación?	7
¿Qué es lo que se pretende con la gamificación?	7
¿Qué es un juego serio?	7
¿En qué consiste un juego serio?	8
¿Para qué se usan los juegos serios y la gamificación en modelación participativa?	8
Puesta en acción	8
Preparación y Mapeo Participativo de Sistemas	9
¿Qué es el mapeo de sistemas?	9
¿Por qué mapear el sistema para los juegos y los modelos basados en agentes?	9
¿Qué métodos hay para mapear el sistema?	9
Descripción general de los MPS y MCD	10
¿Cómo mapear el sistema con MCD en campo?	10
Herramientas	10
Juegos y MBAs en el espejo	11
Juegos y MBAs: Aspectos estructurales y desarrollo de juegos a la par de los MBA	12
Juegos	14
¿Qué otras cosas considerar en el diseño de un juego?	14
Integrando FCM, Modelación basada en agentes y Juego. Un ejemplo:	14
Validación y calibración de modelos y juegos	16
Conclusiones	18
Recursos útiles	18
Referencias	19

Introducción

Los problemas más apremiantes que aquejan a la humanidad no pueden ser simplemente aislados en un laboratorio ajenos a su contexto. Por el contrario, son totalmente dependientes del mismo, sus componentes establecen relaciones fuertes de dependencia. Más aún, en la medida en la que las personas y entorno se afectan mutuamente, este bucle causal no puede ser excluido de los modelos y de la explicación del fenómeno de interés. En este sentido, es necesario una perspectiva de sistemas desde la cual se incluya a las personas como parte del sistema, muchas veces, siendo estas personas los mismos que están modelando el sistema (ver caja informativa 1).

Caja informativa 1: Perspectiva de sistemas

Esta perspectiva considera que el mundo que habitamos se puede entender mejor si lo abordamos como un sistema. Si queremos intervenir en él para abordar algún problema en particular podemos tomar en cuenta las interdependencias y afectaciones entre sus componentes. Una definición que utilizamos comprende los siguientes aspectos 1) un conjunto de elementos, 2) con enlaces entre ellos (si son procesos o interrelaciones) y 3) tienen algún límite o frontera. [31]

Estos retos son especialmente relevantes cuando se toma en cuenta que el conocimiento que se busca generar tiene el objetivo de guiar posibles intervenciones en el sistema con el fin de guiarlo a un estado más deseable. Por ejemplo, para implementar una política contra la discriminación o injusticia en el acceso a un servicio público, para que una comunidad se organice para ejecutar un plan de manejo de agua en la región, o para diseñar una tecnología adecuada y adaptada a los futuros usuarios.

Esta guía utiliza los juegos como herramienta principal para explorar problemas desde un enfoque sistémico, pero integrando dos métodos complementarios: el mapeo participativo de sistemas (MPS) y la modelación basada en agentes (MBA). A lo largo del documento, nos enfocaremos en cómo articular estas tres metodologías de manera efectiva.

¿Cuál es el objetivo de la guía?

Esta guía describe la manera en la que tres metodologías que son comunes en la investigación y modelación participativa (ver cajas informativas 2 y 3) se pueden articular entre sí para distintos fines con el objetivo de que el lector las implemente en sus propios proyectos.

Caja informativa 2: Investigación participativa

Se trata de un paradigma en el que, para realizar investigación y desarrollo tecnológico, se toman en cuenta la participación de diferentes actores, incluidas las comunidades que son las afectadas por tales desarrollos. De este modo se atienden los problemas tal y como los afectados los perciben o definen. La investigación participativa se diferencia de la tradicional en el sentido de que incluye a todas las partes interesadas en la modelación, implementación y evaluación de modelos que pueden derivar en políticas públicas, y que no sólo sean llevadas a cabo por expertos. Esto no quiere decir que los científicos involucrados pierdan autonomía epistémica, tampoco que las comunidades necesariamente aprendan conocimientos técnicos especializados ([3],[4], [6]). La investigación participativa es útil en el contexto de los problemas llamados perversos (*wicked problems*).

Caja informativa 3: Modelación participativa

Proceso de modelación de un sistema en el que los diferentes actores involucrados en la realidad social que se quiere simular toman parte del proceso de modelación. La modelación participativa permite una mayor comprensión de las dinámicas internas del fenómeno que se quiere modelar, ya que incorpora el conocimiento y la percepción de los actores involucrados.

En nuestro caso, y por ello la guía se desarrolla en este sentido, usamos estos métodos con tres metas en mente:

a) Describir el sistema de interés incorporando el entendimiento que las distintas partes interesadas tienen del sistema. En un sentido técnico, la articulación de las tres técnicas que se describen aquí debe conducir a la construcción de un objeto frontera (ver caja informativa 4).

Caja informativa 4: Objeto frontera

Un objeto frontera puede ser un mapa, un modelo computacional, una diagrama, etc, que ha sido creado en un proceso de diálogo entre distintos actores. Los objetos frontera facilitan la comunicación al mediar entre grupos, permitiendo interpretaciones flexibles. Conectan mundos sociales y estabilizan relaciones. Facilitan el aprendizaje y la innovación al permitir el intercambio de conocimientos entre grupos diversos, sin necesidad de un consenso previo.

b) Iniciar un proceso de aprendizaje social sobre el sistema de interés. La descripción adopta la forma de un modelo. Los participantes de la modelación, en el proceso mismo de describir el sistema van aprendiendo sobre su comportamiento, así como de la manera en la que otros participantes perciben el sistema. En la medida en la que el modelo se implementa en forma de

juego o de un modelo computacional, se pueden explorar distintos estados y dinámicas del sistema con lo cual es posible entender mejor las consecuencias de una u otra intervención al sistema.

c) En un sentido social, el aprendizaje que del sistema se logra a través de la modelación participativa permite a los involucrados identificar puntos de acción más adecuados para intervenir el sistema y encontrar nuevas formas de interactuar con el mismo, lo cual puede conducir al fortalecimiento del sentido de agencia en los participantes.

¿A quién está dirigida esta guía?

Esta guía se centra en la articulación de tres métodos. Queremos mostrar cómo el mapeo participativo de sistemas, los juegos y los modelos basados en agentes se pueden conectar para incorporar la perspectiva de distintos actores con el fin de entender el comportamiento de un sistema y los problemas que presenta. De este modo, la guía está pensada para informar a profesionales trabajando en el campo (e.g. ONGs) o en la academia que quieran conocer sobre distintos métodos para la modelación participativa, para la formulación colectiva de un problema desde una perspectiva de sistemas, con el fin de entender mejor los problemas de interés y desarrollar potenciales soluciones.

¿Qué ofrece esta guía?

Lo que esta guía **no ofrece** es una descripción detallada de cada uno de los métodos mencionados en ella. Es decir, no es una guía para aprender a hacer un mapa participativo de sistemas, como tampoco para aprender a hacer un juego desde cero, y menos una guía para aprender a hacer modelos basados en agentes. Para todo ello ya existen publicaciones mas o menos especializadas. Por ejemplo, para el mapeo participativo de sistemas se puede recurrir a [10] y [12], para juegos se puede revisar [23] y para la modelación basada en agentes existen múltiples recursos como [7] y [9].

En cambio, lo que **sí ofrece** es la conexión estructural y lógica entre los distintos métodos. Esto es importante porque de esta forma, si se tiene el conocimiento básico de un método, se puede navegar a otro de los métodos. Somos un poco más explícitos en la descripción del mapeo participativo de sistemas porque en nuestro enfoque este es el punto de partida para obtener la información básica para pasar al diseño del juego o del modelo basado en agentes, según lo requiera el contexto y la situación.

Habiendo dicho lo anterior, esta es una guía con la cual, aun si conocer a detalle cada uno de los métodos en cuestión, debería ser posible identificar lo necesario para echar a andar un proceso participativo con el fin de modelar un problema desde la perspectiva de sistemas. También debería ser posible representar ese problema de una forma que haga posible la exploración y el aprendizaje sobre el mismo con algún tipo de simulación, sea simulación analógica (juego) o *in silico* (modelación basada en agentes). Los resultados de todo el proceso, desde el diseño hasta la exploración grupal del problema, deben, en última instancia, contribuir a entenderlo mejor, a lograr nuevas formas de abordarlo y de tomar decisiones, así como a generar un sentido de agencia y empoderamiento entre quienes participen del proceso.

Un aspecto más que hace particularmente interesante el uso de estos tres métodos es su carácter híbrido entre lo cualitativo y lo cuantitativo. Esto es importante porque a la vez que estos métodos permiten capturar el sentido, significado o contenido social y cultural propio de la perspectiva de los distintos participantes, a su vez es posible aterrizar los aspectos subjetivos de manera computacional y con ellos asegurar su reproducibilidad para continuar su exploración, con el mismo grupo de participantes o con otros.

Gamificación y juegos serios

¿Por qué gamificación?

La gamificación es un enfoque metodológico que permite atender estos tres retos:

- a) De forma lúdica, genera escenarios basados en el mundo, pero con un grado de control mayor al que se tendría en un estudio en su entorno natural, y a la vez de un modo menos artificial que en un entorno experimental;
- b) Los escenarios del juego contienen elementos cuantitativos, así como elementos cualitativos, pues los juegos son una expresión de cómo el sistema de interés se experimenta y se entiende desde el punto de vista de quienes lo viven, pero las acciones de los jugadores pueden ser cuantificadas;
- c) La expresión del sistema en forma de juego permite explorar distintos escenarios bajo consideraciones diferentes y entender mejor las consecuencias de posibles intervenciones del sistema.

¿Qué es la gamificación?

La gamificación es un **enfoque metodológico** que consiste en el uso de juegos en contextos que no tienen que ver con juegos ([22],[24]). Estos juegos son llamados “juegos serios”. Esta metodología permite generar escenarios basados en el mundo real, pero con un **grado de control mayor al que se tendría en un contexto social real**.

¿Qué es lo que se pretende con la gamificación?

En procesos de investigación participativa, la gamificación puede tener los siguientes objetivos, aunque no se limite a ellos:

- a) Capturar el comportamiento y las decisiones de un grupo de personas ante una situación de interés
- b) Detonar procesos de reflexión y aprendizaje por parte de los involucrados (funcionarios de gobierno, practicantes, académicos, etc)
- c) Ayudar a generar consenso y empatía entre los participantes

¿Qué es un juego serio?

Un juego serio es un juego que tiene un **propósito diferente al del simple entretenimiento**. El juego serio puede tener un propósito educativo, de intervención social, o de investigación científica, entre otros. El juego es el **elemento central en la metodología de gamificación**.

¿En qué consiste un juego serio?

Hay muchos tipos de juegos serios que podemos usar según cada contexto, pero todos tienen algunos **elementos** en común, que son los siguientes:

- 1) Los jugadores tienen una **meta**: saben cuál es su propósito en el juego
- 2) Hay unas **reglas del juego**, de modo que cada jugador sabe qué puede hacer y qué no, y qué puede esperar que pase a lo largo del juego.
- 3) Los jugadores disponen de **retroalimentación**, de modo de poder tener un conocimiento sobre su situación en el juego en términos de cuán lejos o cerca están de sus metas.
- 4) Los jugadores afrontan **retos** que son desafiantes a la vez que son alcanzables. De este modo, pueden mantener la motivación a lo largo del juego.
- 5) Además de los elementos básicos necesarios que debe haber en cualquier juego, cuando el juego serio se lleva a cabo en el marco de la modelación participativa, también será necesario incluir elementos que asemejen el **entorno** de juego al **entorno social** que se quiere analizar, de modo que la información tanto cuantitativa como cualitativa que se recoja haga relación con el entorno estudiado.

¿Para qué se usan los juegos serios y la gamificación en modelación participativa?

En modelación participativa, el juego implementado mediante la metodología de gamificación tiene la función de facilitar **información sobre el comportamiento de los jugadores** en un determinado contexto. El juego pasa a ser la representación del sistema en el que determinadas interacciones y procesos tienen lugar, y permite un análisis y una comprensión de este sistema.

Adicionalmente, en un contexto de modelación participativa, el juego proporciona un espacio lo suficientemente seguro en el que se genera un **proceso de empoderamiento de los participantes**, en la medida en que éstos no son sólo objeto de estudio, sino que también profundizan en su conocimiento del sistema del cual forman parte y contribuyen con su conocimiento a la interpretación de los resultados obtenidos.

Puesta en acción

Preparación y Mapeo Participativo de Sistemas

La preparación para desarrollar e implementar una estrategia basada en juegos es muy importante. Es necesario tener un entendimiento mínimo del contexto y de los actores relacionados con el tema de interés. Para ello puede ser útil llevar a cabo una revisión de la literatura disponible, así como entrevistas o, también, un mapeo participativo del sistema que se quiere estudiar.

A continuación, detallamos qué es el mapeo participativo de sistemas, para qué se usa y cómo se implementa.

¿Qué es el mapeo de sistemas?

El mapeo de sistemas es una forma en la que se puede abstraer el conocimiento y entendimiento que tiene una persona o un grupo de personas respecto a un fenómeno, una situación o un problema. Como lo dice su nombre, el mapeo de sistemas es una representación en forma de sistema.

Específicamente, el mapeo tiene forma de red, en la cual los nodos de la red son variables y los enlaces entre los nodos son relaciones causales tipo *a afecta b*.

¿Por qué mapear el sistema para los juegos y los modelos basados en agentes?

Los mapas de sistemas son una excelente fuente de información estructurada para el diseño de juegos. No son la única manera de obtener información, ni tampoco se debe restringir a ella, pero los mapas de sistemas son particularmente útiles porque nos suelen dar información sobre las variables del sistema y sobre cómo interactúan entre ellas. Para el diseño de un juego y para un modelo basado en agentes, esta es información valiosa porque es una forma de obtener información de las dinámicas sociales desde el punto de vista de los sistemas complejos, así como desde el punto de vista de los participantes, que en conjunto ofrecen una aproximación más rica de la realidad. Para ello, el mapa obtenido durante el mapeo de sistema servirá de guía para decidir qué elementos son relevantes y deben ser incluidos.

¿Qué métodos hay para mapear el sistema?

Existen distintos modos de mapear el sistema de forma participativa, sin embargo aquí nos limitaremos a dos de ellas: el mapeo participativo de sistemas (MPS) y los mapas cognitivos

difusos (MCD). Ambas son muy similares y se ha probado una conexión positiva con los juegos y los modelos basados en agentes.

Descripción general de los MPS y MCD

Aspectos en común

Ambas técnicas representan el conocimiento y entendimiento que tienen las personas sobre un tema particular a modo de red. Los nodos representan variables, lo que significa simplemente que deben poder tener un valor, el cual puede cambiar (aumentar o disminuir).

Por ejemplo, en un estudio sobre la degradación de un humedal, uno de los factores del mapa era “calidad del agua”. La “calidad del agua” es una variable que puede cambiar de valor, en donde 1 puede ser excelente, y 0 puede ser la peor calidad del agua.

Los enlaces entre los factores tienen por lo menos dos propiedades: a) Los enlaces representan relaciones causales, es decir, tienen una dirección; b) La relación causal puede ser positiva o negativa. Es positiva cuando un aumento en el factor x conduce al aumento en el factor y , o cuando la disminución del valor en x corresponde con la disminución de b . Es negativa cuando la relación entre las variables es inversa, es decir, si el valor de a aumenta, entonces el valor de b disminuye, y viceversa.

Diferencias

En el caso de los MCD, los enlaces además son ponderados. Es decir, los enlaces no sólo tienen una valencia (positivos o negativos), sino que tienen un valor numérico que representa la intensidad percibida de afectación de un factor sobre otro. Por lo general el valor de los enlaces se encuentra en el intervalo $[-1, 1]$.

En relación a esto, el planteamiento original de los MCD permite correr simulaciones sobre la red. Los factores tienen una función de activación que cuando el valor entrante del factor a cruza un umbral modifica el valor del factor b .

¿Cómo mapear el sistema con MCD en campo?

El mapeo de sistemas puede hacerse de manera individual o grupal. La decisión tiene aspectos positivos y negativos. Por ejemplo, trabajar los mapas de forma individual puede ser muy detallado, se pueden preguntar con calma las razones detrás de las decisiones que toma el entrevistado. Sin embargo, si el número de personas que se busca entrevistar es muy elevado, el tiempo invertido será considerable. En cambio, el mapeo con un grupo puede ser menos detallado pero puede representar mejor el entendimiento colectivo del sistema y es mucho menos demandante en tiempo, pues por lo general se puede hacer en un par de horas.

En cualquier caso, la decisión de a qué personas es necesario invitar a participar en el mapeo es clave en el proceso, ya que nuestro objetivo será disponer de una diversidad de actores con diferentes intereses y perspectivas del sistema. Para tomar esta decisión, la revisión de la literatura y las entrevistas realizadas son de gran ayuda.

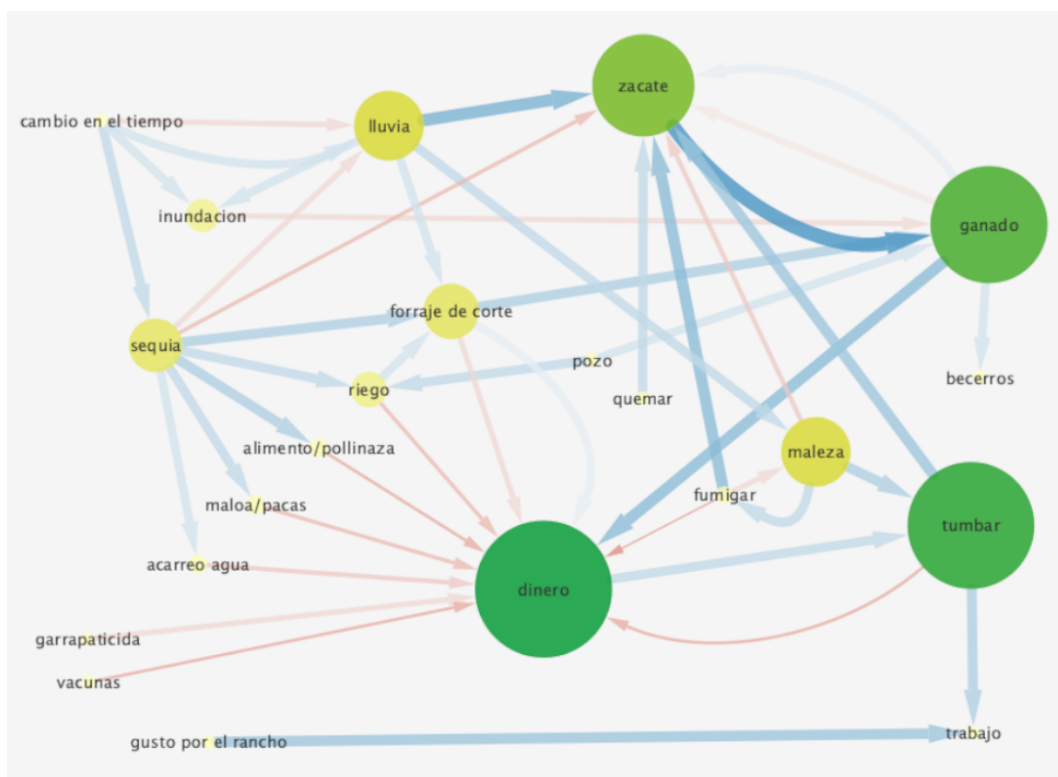


Figura 1: Ejemplo de mapa cognitivo difuso ([14])

Herramientas

Los MCD se pueden hacer a mano, para visualizarlos posteriormente con algún software para redes como Mental Modeler, Loopy y Prism, o usando herramientas como la librería NetworkX para Python (Ver sección: [Recursos útiles](#)).

En la Figura 1 se ejemplifica un MCD, se observa que:

- 1) Los nodos son los factores o variables.
- 2) El tamaño de los nodos responde a su centralidad por intermediación (*betweenness centrality*).
- 3) Los enlaces con punta de flecha representan la relación y el sentido causal. Los enlaces en azul son conexiones positivas del tipo si $A \uparrow$ entonces $B \uparrow$ o $A \downarrow$ entonces $B \downarrow$. Los enlaces en rojo representan conexiones negativas o inversas del tipo $A \uparrow$ entonces $B \downarrow$ o $A \downarrow$ entonces $B \uparrow$.
- 4) El grosor y la opacidad de los enlaces representa la "fuerza" causal que los ganaderos le atribuyen a la conexión.

Juegos y MBAs en el espejo

Juegos y MBAs: Aspectos estructurales y desarrollo de juegos a la par de los MBA

Los juegos forman un entorno controlado e inmersivo que mejoran el involucramiento de los participantes en los procesos de investigación, y a la vez les permiten aprender mejor sobre sus acciones y las consecuencias que tienen las mismas en el sistema de interés.

Dado que podemos tener varios patrones de diseño de juegos, el desarrollo de estos puede ser decisión de la persona que los desarrolle de acuerdo con sus destrezas. No obstante, en ambientes en donde queremos modelar la complejidad social de manera computacional, y en específico con simulaciones como las que son basadas en agentes, resulta apropiado desarrollar paralelamente los juegos y los MBAs.

La manera de relacionar juegos con MBAs puede ser variada, desde definir uno en términos del otro, uno como parte del otro, o bien los dos entrelazados [19]. Sin embargo, cabe resaltar las características que tanto los MBA como los juegos tienen en común: agentes como jugadores, reglas del modelo como reglas de los juegos, pasos en el tiempo como turnos y simulaciones como sesiones de juego, etc. Así, podemos definir de manera intuitiva el tránsito simple de un MBA a un juego o viceversa, desarrollando ambos a partir de un mismo FCM/PSM sin necesidad de invertir tiempo en las características de cada uno por separado, y considerando las particularidades del problema social que queremos modelar.

Característica	Descripción
Problema de interés	Es un problema identificado por parte de los participantes en el grupo. El problema surge y está representado en el mapa del sistema.
Pregunta al sistema	Es la pregunta que guía el juego y el modelo, y que permite explorar el comportamiento bajo distintos supuestos e intervenciones o perturbaciones. Responde al ¿Qué tal si . . . ? De nuevo, el mapeo del sistema ayuda a identificar en grupo qué aspecto del sistema se quiere entender.
Aspectos estáticos	Son aquellos aspectos de los agentes y del entorno que no cambian.
Entidades centrales	Son los elementos centrales que caracterizan el juego o el modelo

Agentes	Estos son los agentes del modelo o los jugadores del juego.
Recursos	Las cosas que son usadas por los agentes, por ejemplo: dinero, agua, energía, comida, etc.
Otros objetos	Cosas en el entorno que son pasivas pero que tienen que ser consideradas por los agentes: una calle, una cerca, etc.
Atributos de los agentes	Es la lista de propiedades que define a un tipo de agente. Si hay distintos agentes, deben tener atributos diferentes.
Estáticos	No cambian a lo largo del tiempo. Por ejemplo, sexo, especie (humanos, no-humanos), etc.
Dinámicos	Son variables y por ello cambian en el tiempo. Por ejemplo, edad, riqueza, etc.
Entorno	Son los elementos que dan contexto al juego o al modelo.
Espacial	El espacio por donde se mueven los agentes y en donde hacen y pasan las cosas.
No-espacial	Redes: nodos y enlaces. Fijos o estáticos.
Atributos del entorno	Es la lista de propiedades que caracterizan al juego o al modelo en su conjunto.
Atributos globales	Atributos que hacen referencia a la estructura del sistema que se está modelando. Por ejemplo, tiempo, rondas, temperatura global, energía del sistema, riqueza del sistema, etc.
Atributos locales	Atributos del entorno en el que se mueven o habitan los agentes individuales. Por ejemplo, historia, humedad, color, temperatura, etc. En un MBA son los atributos de los <i>patches</i> .
Condiciones iniciales	Del juego o del MBA
Aspectos dinámicos	Son aquellos aspectos de los agentes y del entorno que van cambiando.
Interacciones entre agentes y entorno	Elementos del juego o del modelo que promueven la interacción entre agentes y entorno, ya sea en una u otra dirección.
Forma en la que el entorno afecta a los agentes individuales	Aspectos del entorno que motivan a los agentes a actuar de un modo u otro.
Forma en la que los agentes actúan sobre el entorno	Acciones de los agentes que modifican el entorno.
Condiciones de acción	Se trata de las condiciones que deben estar presentes para que el entorno afecte al agente o viceversa (interacciones entre agentes y entorno arriba descritas).

Reglas	Se trata de las reglas del juego o del modelo, que conectan las condiciones con las acciones, sean del agente o del entorno.
Entrada y salida de agentes	Las condiciones bajo las cuales los agentes entran o salen del modelo o juego.

Cuadro 1: Aspectos estructurales de juegos y modelos basados en agentes. Listado elaborado a partir de [7] y [8].

Juegos

¿Qué otras cosas considerar en el diseño de un juego?

Además de los elementos básicos necesarios que debe haber en cualquier juego, cuando el juego serio se lleva a cabo en el marco de la modelación participativa, también será necesario incluir elementos que asemejen el entorno de juego al entorno social que se quiere analizar, de modo que la información tanto cuantitativa como cualitativa que se recoja haga relación con la situación que se quiere explorar.

Estos elementos pueden incluir procesos, instituciones involucradas, elementos que pueden ser modificados a lo largo del juego como ganancias económicas o adquisición de conocimientos, la representación del tiempo a lo largo del juego, y en general todo aquello que asemeje el entorno del juego al entorno social de interés.

Elementos del juego	Elementos del MBA
Metas	Objetivo de los agentes
Estado global final del juego	Comportamiento emergente del modelo
Reglas	Reglas del comportamiento de los agentes
Sistema de retroalimentación	Agente teniendo información de su propio estado
Jugadores	Agentes
Tiempo: turnos o dinámicas de interacción entre jugadores	Tiempo: pasos de reloj en un MBA (<i>ticks</i>)
Entorno	Entorno

Cuadro 2: Simetría entre juegos y modelos basados en agentes ([7] y [8]).

Integrando FCM, Modelación basada en agentes y Juego. Un ejemplo

En esta sección ofrecemos un ejemplo de un Modelo Basado en Agentes (MBA) y de un juego. En este caso, tanto MBA como juego son de tipo computacional y están en la misma plataforma de Netlogo. Ahora explicamos con más detalle, pero primero es necesario contar un poco sobre el origen del modelo y el juego.

Se trata de un modelo que se basa en un Mapa Cognitivo Difuso que fue generado en el marco de un proyecto sobre la gestión que hacen productores ganaderos en Yucatán de sus ranchos en condiciones de sequía. Para los investigadores del proyecto era importante entender mejor, junto con los productores, cómo es esa gestión cuando la variabilidad climática en la zona, presumiblemente desencadenada por el cambio climático, tiene un impacto real en sus actividades productivas. Dada la latitud de la zona, el año se divide en temporada de lluvias y temporada de secas. Típicamente, la temporada de lluvias debe iniciar a comienzos de mayo. Sin embargo, en los últimos años, el inicio de las lluvias se ha vuelto cada vez más impredecible y la incertidumbre entre los productores es cada vez mayor.

La ganadería dominante en la región requiere de deforestar el espacio para sembrar pastos que sirven de alimento para el ganado. Se asume ([14]) que la deforestación para la producción ganadera contribuye a la variabilidad climática de la zona. Este proyecto busca promover formas de mitigación y adaptación a través de prácticas ganaderas silvopastoriles, es decir, una forma de producción que aprovecha deliberadamente el entorno natural como un aliado.

Los objetivos del FCM, el modelo y el juego fueron describir y explorar de forma participativa el manejo que hacen los ganaderos de sus ranchos en condiciones de sequía. En un primer momento, a través de un MCD, los productores ganaderos hicieron una caracterización conceptual de dicho manejo, lo que implica en cierto grado que también caracterizan cómo “funciona” un rancho. El MCD es la materia prima a partir de la cual comenzar a elaborar el modelo y el juego. El MBA por su parte tiene el objetivo de darle un sentido dinámico a lo que ha sido conceptualizado con el MCD. El modelo permite reproducir el cambio del rancho a partir de una condiciones iniciales y del cambio en las relaciones entre variables que los mismos productores identificaron como centrales. En otras palabras, el Modelo reproduce una “película” de lo que antes era sólo una “fotografía”, es decir, el MCD. Por ello, con el modelo es posible explorar el comportamiento y evolución del sistema bajo distintas situaciones de origen.

El modelo no ha sido diseñado para que capture las decisiones de los productores. Lo que hace el modelo es mostrar cómo el rancho se desenvolvería en el tiempo, bajo las condiciones, características y relaciones que identifica el productor, pero sin su intervención. Esta característica del modelo es deliberada, porque en nuestro caso, el modelo es la base para el juego. En el juego, el productor real, por ejemplo alguno de quienes participaron haciendo el MCD, puede intervenir su rancho. El modelo corre a modo de tablero dinámico (Fig. 2), y el productor puede ir viendo cómo van cambiando los distintos elementos del rancho como son las vacas, la cantidad de pastura por área y de árboles. El productor/jugador puede establecer al inicio del juego que éste pare cada cierto tiempo o bien puede dejarlo correr y detenerlo en cualquier momento para evaluar las condiciones de su rancho. El productor/jugador evalúa la situación y puede decidir

intervenir como lo haría dentro del marco de estrategias que posee para el manejo de su rancho. El reto del productor/jugador es evitar la degradación y catástrofe de su propio rancho, bajo la idea que él o ella misma tiene de cómo funciona y de cómo hay que gestionar el rancho.

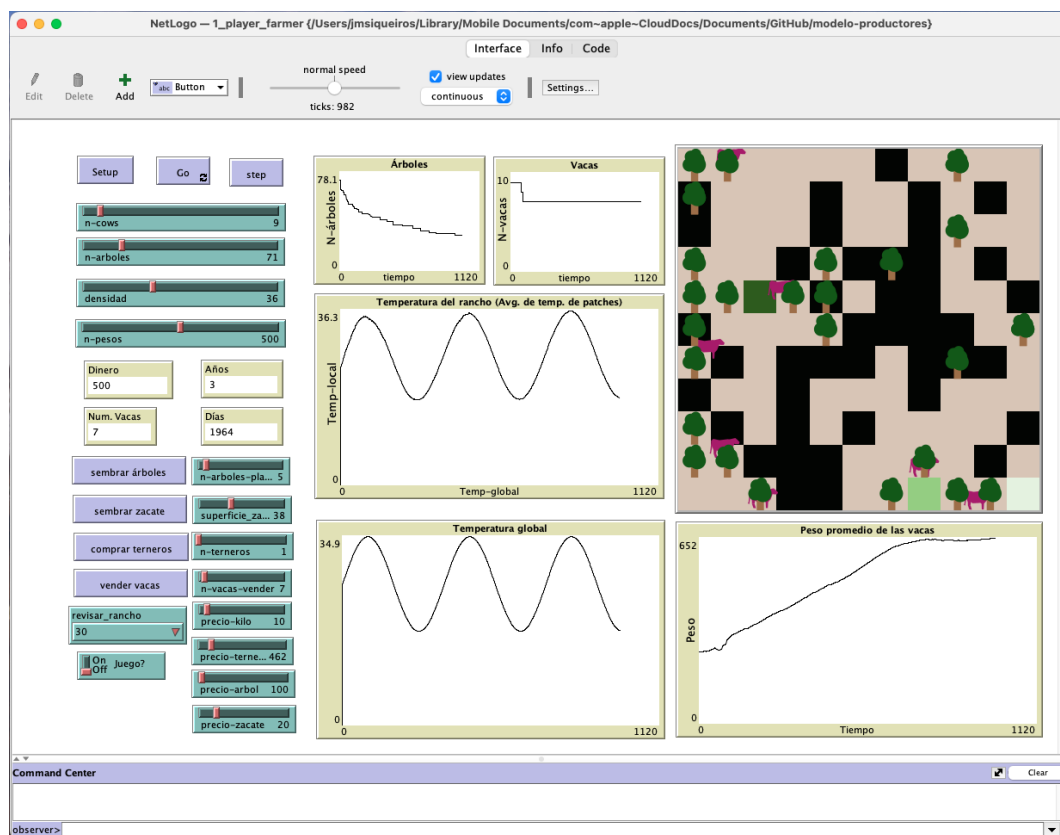


Figura 2: Interfaz del Modelo Basado en Agentes y Juego en Netlogo 6.3. Nota que en la parte de abajo a la izquierda hay un interruptor que dice "Juego? On-Off". Esto permite pasar de modo Modelo a modo Juego en la misma interfaz.

El modelo se puede acceder en este [vínculo](https://github.com/imsiqueiros/Modelo-Basado-en-Agentes-y-Juego) de GitHub. El acceso es público y se puede acceder al código. Es importante señalar que para experimentar con el modelo y juego es necesario descargar Netlogo desde <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

Validación y calibración de modelos y juegos

Dos temas que son ineludibles son el de la calibración y el de la validación de modelos. En nuestro caso, tenemos tres tipos de modelos: Mapas Cognitivos Difusos, Modelos Basados en Agentes y los Juegos. Desde el inicio, nuestra estrategia ha sido mapear de forma participativa el sistema de interés. Con el MCD intentamos con la comunidad caracterizar y capturar lo que desde la perspectiva de los distintos participantes define al sistema. Posteriormente y como trabajo propio del investigador, está el proceso de mapear el MCD a un MBA o a un juego. También hemos argumentado que entre MBA y Juego hay una especie de relación de espejo o isomórfica. Esta estrategia de mapeo participativo es importante para reflexionar sobre la validación y la

calibración.

La validación se suele entender como el proceso por el cual se evalúa la coherencia de un modelo usando datos externos ([4]). La calibración en cambio trata del uso de datos existentes para afinar el modelo ([2]).

Nosotros recomendamos en la medida de la posible, si existen datos y tiene sentido en el marco del modelo, seguir las estrategias de validación y calibración tradicionales. Sin embargo, nos parece más relevante abrir una última discusión sobre la naturaleza participativa de la modelación, en particular para los modelos que hemos abordado a lo largo de la guía.

El primer punto en este respecto es la confiabilidad del modelo. ¿Qué tan confiable es el modelo para el colectivo en general y para cada uno de los participantes? Esto depende de una serie de factores, entre ellos la transparencia, la fiabilidad y la explicabilidad del proceso, y finalmente del modelo. La transparencia no sólo es un asunto de las decisiones técnicas o epistémicas, sino de los aspectos políticos y éticos en las motivaciones del proceso e intención de uso del modelo. En tanto que nuestro punto de partida es un MCD, esto debe ser particularmente claro y explícito en su construcción participativa.

Además de la confiabilidad, hay otro concepto importante a tomar en cuenta y que es cercano al de validación; se trata de la noción de credibilidad. La credibilidad de un modelo se refiere precisamente al grado de legitimidad del modelo en representar el fenómeno de nuestro interés. Si bien la validación intenta hacer algo similar con datos externos, y nuestro modelo se puede apoyar en ello, aunque sea parcialmente, la credibilidad del modelo en un proceso participativo debe tomar en cuenta que muchas veces estamos trabajando en contextos en donde confluyen distintas formas de saber, distintos saberes, epistemologías y ontologías. Esta discusión es un área que requiere de mucho más trabajo de investigación.

Finalmente, la discusión sobre la modelación participativa, a la luz de la confianza, credibilidad, transparencia, etc, requiere de una última nota respecto a la responsabilidad epistémica, ética y política. En un proceso de modelación académica tradicional, la responsabilidad epistémica del modelador se refiere a la concordancia entre el modelo y lo modelado, por ejemplo, tomando en cuenta los elementos arriba discutidos: fiabilidad, transparencia, la transitividad semántica de un dominio a otro (que lo que es significativo en el modelo también lo es en lo modelado).

Sin embargo, en la modelación participativa hay una serie de aspectos que se deben considerar en torno a la responsabilidad epistémica. Una de ellas es que la modelación participativa es un ejercicio de co-producción, es decir, aunque el investigador es un facilitador, el modelo es un producto que emerge del involucramiento de los distintos actores participantes. Esto conduce a que la responsabilidad epistémica es en buena medida dependiente de la responsabilidad ética y política del modelador. Esto es así porque el modelador no sólo es responsable por el modelo mismo, sino que también tiene una responsabilidad en llevar el proceso participativo en condiciones que de menor asimetría de poder entre los participantes y en un espacio seguro, es decir, en donde los participantes puedan externar sus opiniones y conocimiento sin ser violentados por ello, o por cuestiones de género, etnicidad o situación socio-económica, sin que esto signifique que no es un espacio para el debate y confrontación de ideas. En este sentido, decimos que se trata de responsabilidad ética porque el modelador como facilitador debe hacer lo posible por

generar esa atmósfera de seguridad, y política porque debe buscar generar una atmósfera de diálogo y debate democrático ([29], [30]). Se espera que estas condiciones permitan un proceso reflexivo que contribuye a la generación colectiva de conocimiento en forma de modelos.

Conclusiones

A lo largo de esta guía, hemos revisado el modo en que un proceso de investigación y modelación participativa se puede llevar a cabo a partir de la combinación de tres metodologías: Mapas Cognitivos Difusos, Modelos Basados en Agentes y Juegos.

El uso de estas metodologías enmarca el proceso de investigación en una perspectiva de sistemas complejos, permitiendo abordar problemáticas y/o preguntas de investigación que no pueden ser analizadas de manera aislada, sino tomando en cuenta dinámicas e interconexiones sistémicos. Además, permite tomar esta perspectiva a lo largo de todo el proceso de modelado: para recabar datos relativos a la perspectiva de todos los actores involucrados, para modelar los procesos sociales estudiados, y para discutir posibles escenarios alternativos colectivamente.

Esta guía pretende ser un punto de partida para aquellas personas interesadas en llevar a cabo este tipo de modelación participativa, a fin de estructurar la implementación de proyectos conteniendo estas metodologías. Animamos a revisar en profundidad literatura referente a las diferentes metodologías, que hemos incluido en el apartado de referencias bibliográficas. Asimismo, animamos a aquellos que generen modelos en el marco de este tipo de proyectos de investigación y modelación participativa a compartirlos con la comunidad científica en repositorios web que tienen el objetivo de compilar este tipo de modelos, y que también referenciamos a continuación.

Recursos útiles

Mapas cognitivos difusos y mapeo participativo de sistemas

- **Mental modeler:** herramienta diseñada para crear, analizar y compartir mapas cognitivos difusos. Con herramientas arrastrar y soltar para crear modelos y simulaciones interactivas que permiten probar diferentes escenarios.
<https://www.mentalmodeler.com/>
- **PRSM**(*Participatory System Mapper*): herramienta de modelado colaborativo diseñada para ayudar a grupos a visualizar, analizar y discutir sistemas complejos. Integra mapas cognitivos difusos y pensamiento de sistemas para facilitar el involucramiento de partes interesadas en toma de decisiones.
<https://prsm.uk/>
- **Loopy:** herramienta interactiva para modelar y simular sistemas dinámicos de manera visual e intuitiva. Diseñada para abordar diferentes elementos de un sistema a través de bucles de retroalimentación comunes en economía, ecología, sociología y otros campos.
<https://ncase.me/loopy/>

Modelación basada en agentes

- **Netlogo**: entorno de modelación y programación de modelos basados en agentes, diseñado para simular sistemas complejos en diversos campos.
<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

Modelación en Python

- **Networkx**: biblioteca especializada en análisis, modelado y visualización de redes complejas (o grafos en general).
- **Mesa, AgentPy**: bibliotecas para desarrollo de modelos basados en agentes.

Referencias

Sobre involucramiento de stakeholders, investigación participativa y Companion Modelling

- [1] Ahrweiler, P., Frank, D., & Gilbert, N. (2019). Co-Designing Social Simulation Models For Policy Advise: Lessons Learned From the INFISO-SKIN Study. *2019 Spring Simulation Conference (SpringSim)*, 1-12.
<https://doi.org/10.23919/SpringSim.2019.8732901>
- [2] Beisbart, C., & Saam, Nicole J. (Eds.). (2019). *Computer Simulation Validation: Fundamental Concepts, Methodological Frameworks, and Philosophical Perspectives*. Simulation Foundations, Methods and Applications. Springer Nature Switzerland AG, Cham.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-70766-2>
- [3] Biggs, R., de Vos, A., Preiser, R., Clements, H., Maciejewski, K., & Schlüter, M. (Eds.). (2021). *The Routledge Handbook of Research Methods for Social-Ecological Systems* (1st ed.). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781003021339>
- [4] Graebner, C. (2018). How to Relate Models to Reality? An Epistemological Framework for the Validation and Verification of Computational Models. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(3):8. doi: 10.18564/jasss.3772.
<https://www.jasss.org/21/3/8.html>
- [5] Le Page, C., Abrami, G., Barreteau, O., Becu, N., Bommel, P., Botta, A., & Souchère, V. (2014). Models for sharing representations. In M. Étienne, (Ed.), *Companion modelling: A participatory approach to support sustainable development* (pp. 69-101). Dordrecht: Springer.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-8557-0_4
- [6] Voinov, A., Jenni, K., Gray, S., Kolagani, N., Glynn, P. D., Bommel, P., and Smajgl, A. (2018). Tools and methods in participatory modeling: Selecting the right tool for the job. *Environmental Modelling & Software*, 107, 1268–1281.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815218303098?via%3Dihub>

Sobre simulación social

- [7] Gilbert, N. (2008). *Agent-based models*. SAGE.
- [8] Gilbert, N., Troitzsch, K. & Gilbert, N. & Troitzsch, K. (Eds.) (2005). *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press.

- [9] Wilensky, U. & Rand, W. (2015). *An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with Netlogo*. MIT Press.

Sobre MCD y MPS

- [10] Barbrook-Johnson, P. & Penn, A. (2022). *Systems Mapping. How to build and use causal models of systems*. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-01919-7>
- [11] Gray, S.A., Zanzi, E. & Gray, S.R.J. (2014). Fuzzy Cognitive Maps as Representations of Mental Models and Group Beliefs. In: Papageorgiou, E. (Ed.) *Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering*. Intelligent Systems Reference Library, vol 54. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39739-4_2
- [12] Penn, A. & Barbrook-Johnson, P. (2019). Participatory Systems Mapping: a practical guide. *CECAN toolkit, Centre for the Evaluation of Complexity Across the Nexus (CECAN)*. <https://www.cecan.ac.uk/wp-content/uploads/2020/09/PSM-Workshop-method.pdf>
- [13] Penn, A. & Barbrook-Johnson, P. (2022). How to design a Participatory Systems Mapping process. *CECAN toolkit*. <https://www.cecan.ac.uk/wp-content/uploads/2022/03/How-to-design-a-PSM-process-Final.pdf>
- [14] Pérez-Lombardini, F. Siqueiros, JM, Galindo, F. Solorio, J. (2024). Integrating social dynamics in the participatory modeling of small-scale cattle farmers' perceptions and responses to climate variability in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Frontiers in sustainable food systems*. 7, 1321252.
- [15] Siqueiros-García, JM, Lerner, A. Eakin, H. & Hernández-Aguilar, B. (2019). A standardization process for mental model analysis in socio-ecological systems. *Environmental Modelling & Software*, 112, 108-111.

Sobre MCD/MPS y MBA

- [16] Davis, C. W., Giabbanelli, P. J., & Jetter, A. J. (2019). The intersection of Agent Based Models and Fuzzy Cognitive Maps: a review of an emerging hybrid modeling practice. In *2019 Winter Simulation Conference (WSC)*, National Harbor, MD (pp. 1292-1303) doi: 10.1109/WSC40007.2019.9004842.
- [17] Mehryar, S., Schwarz, N., Sliuzas, R., van Maarseveen, M. (2020). Making Use of Fuzzy Cognitive Maps in Agent-Based Modeling. In: Verhagen, H., Borit, M., Bravo, G., Wijermans, N. (Eds.) *Advances in Social Simulation*. Springer Proceedings in Complexity. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34127-5_29
- [18] Mehryar, S. et al. (2019). From individual Fuzzy Cognitive Maps to Agent Based Models: Modeling multi-factorial and multi-stakeholder decision-making for water scarcity. *Journal of Environmental Management*, 250: 109482 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109482>

Sobre la combinación de MBA y juegos

- [19] Szczepanska, T. et al. (2022). GAM on! Six ways to explore social complexity by combining games and agent-based models. *International Journal of Social Research Methodology*, 25:4, 541-555, doi: 10.1080/13645579.2022.2050119

Sobre el uso de juegos para investigar algo (y entender el sistema)

- [20] Brugnach, M., de Waard, S., Dubois, D., & Farolfi, S. (2021). Relational quality and uncertainty in common pool water management: an exploratory lab experiment. *Scientific Reports*, 11 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94517-6>

Sobre empoderamiento mediante gamification

- [21] van der Lubbe, L. M., Gerritsen, C., Klein, M. C., & Hindriks, K. V. (2021). Empowering vulnerable target groups with serious games and gamification. *Entertainment Computing*, 38, 100402. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2020.100402>.

Social learning and engagement con modelación participativa

- [22] Bakhanova, E., Garcia, J. A., Raffe, W. L., & Voinov, A. (2020). Targeting social learning and engagement: What serious games and gamification can offer to participatory modeling. *Environmental Modelling & Software*. 134. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104846>

Sobre juegos

- [23] Catalano, C., Luccini, A. M., & Mortara, M. (2014). Guidelines for an effective design of serious games. *International Journal of Serious Games*. doi: 10.17083/ijsg.v1i1.8
- [24] Landers, R. N., Auer, E. M., Collmus, A. B., & Armstrong, M. B. (2018). Gamification Science, Its History and Future: Definitions and a Research Agenda. *Simulation & Gaming*, 49(3), 315–337. <https://doi.org/10.1177/1046878118774385>
- [25] McGonigal, J. (2011). What exactly is a game? In: *Reality is broken: Why games make us better and how they can change the world*. Penguin Press.

Validación y calibración de modelos y juegos

- [26] Beisbart, C. and Saam, N.J. (Eds.) (2019), *Computer Simulation Validation: Fundamental Concepts, Methodological Frameworks, and Philosophical Perspectives*. Springer Nature Switzerland AG, Cham, 2019. doi:10.1007/978-3-319-70766-2+.
- [27] Graebner, C. (2018). How to Relate Models to Reality? An Epistemological Framework for the Validation and Verification of Computational Models. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(3):8, 2018. doi: 10.18564/jasss.3772.
- [28] Catalano, C. E., Luccini, A. M., & Mortara, M. (2014). Best practices for an effective design and evaluation of serious games. *International Journal of Serious Games*, 1(1), e1-e13.

Bibliografía general

- [29] Benhabib, S. (1992). Models of Public Space. In H., Arendt, J., Habermas & C., Calhoun (Eds.), *Habermas and the Public Sphere* (pp. 90-114). Cambridge, MA & London: The MIT Press.
- [30] Habermas, J. (1989). *The Structural Transformation of the Public Sphere. An Inquiry into a Category of Bourgeois Society*. Cambridge, MA: MIT Press.

- [31] Williams, B., & Hummelbrunner, R. (2011). *Systems concepts in action: A practitioner's toolkit*. Stanford University Press.

Reconocimientos

JMS desea agradecer a PASPA-UNAM por el apoyo para realizar la estancia sabática de la que surge esta guía y al proyecto PAPIIT-IG201621 por facilitar los Mapas Cognitivos Difusos que sirvieron de ejemplo.