

## SIMULPAST: UN LABORATORIO VIRTUAL PARA EL ANÁLISIS DE LAS DINÁMICAS HISTÓRICAS

### 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de las páginas siguientes presentamos una iniciativa actualmente en curso dirigida a promover innovaciones tanto teóricas como metodológicas en el análisis de las dinámicas históricas, sociales y ecológicas: *SimulPast-Social and environmental transitions: Simulating the past to understand human behaviour* (<http://www.simulpast.es/>). Este proyecto pretende ser una plataforma que haga posible incidir en cuestiones de especial relevancia para el desarrollo de nuevas vías en Arqueología tales como la transdisciplinariedad y el subsiguiente debate teórico que suscita, así como la necesidad de plantear nuevas perspectivas de investigación.

Los principales resultados a obtener serían los siguientes:

- La creación de un nuevo espacio de trabajo, basado en la transdisciplinariedad y el replanteamiento del desarrollo del proceso de investigación.
- La definición de una hoja de ruta para la aplicación de la simulación en Humanidades y Ciencias Sociales.
- La generación de nuevas herramientas de simulación computacional dedicadas específicamente al estudio de las sociedades humanas, así como también nuevos protocolos para la construcción e intercambio de modelos en Ciencias Sociales.
- Una mayor comprensión sobre los procesos de cambio en las sociedades humanas.

El proyecto SimulPast engloba 11 grupos de investigación procedentes de diferentes disciplinas (Ciencias Sociales y Humanidades, Ciencias de la Computación, Ciencias Formales y Ciencias Naturales) y que desarrollan su trabajo en 7 instituciones científicas. Dichos grupos están organizados en base al análisis y/o resolución de diferentes casos de estudio específicos, surgidos la mayoría de ellos a partir de líneas de trabajo o proyectos de investigación (históricos, arqueológicos y antropológicos) que se encontraban ya en curso en el momento de plantear esta iniciativa. El presente artículo describe los puntos de partida y el enfoque metodológico de SimulPast como una propuesta de investigación de las dinámicas históricas de los grupos humanos del pasado a través de la Simulación Social.

### 2. LA SIMULACIÓN EN ARQUEOLOGÍA

La Simulación Computacional fue desarrollada por primera vez como herramienta científica al finalizar la II Guerra Mundial. Además de para usos

militares, fue aplicada a disciplinas que requerían de extensos cálculos para resolver los modelos creados, como la Meteorología o la Física Nuclear. Desde entonces, los modelos por ordenador y la simulación de sistemas complejos han estado marcadamente presentes en el debate científico con un importante desarrollo en Ciencias Medioambientales y Ciencias de la Vida, mientras que las Ciencias relacionadas con el comportamiento humano y las formas de organización social apenas han usado estas técnicas pese a sus posibilidades. Sin embargo, muchos sistemas biológicos complejos, que presentan propiedades similares a las existentes en nuestras estructuras sociales, han sido estudiados como parte de la investigación sobre la complejidad (MILLER, PAGE 2007). Con todo, cabe remarcar que recientemente existe un progresivo interés al respecto en Ciencias Sociales (WAGENSBERG 1998; HENRICKSON, MCKELVEY 2002; LEWIN 2002; RAIZA *et al.* 2002; MORIN 2003), y en especial por su aplicabilidad a los estudios de corte histórico (LÓPEZ BORGÑOZ 1999; KOSSE 2001; BRIZ 2003; BROWN, WISTCHEY 2003; RICHARD 2009; KOHLER 2011).

La mayoría de modelos computacionales que exploran sistemas complejos en los que interviene como factor relevante el comportamiento humano, englobados en la llamada Simulación Social, son fruto de investigaciones con menos de dos décadas de existencia (EPSTEIN, AXTELL 1996; FORT, MÉNDEZ 1999; GILBERT, TROITZSCH 2008). Entre los primeros ejemplos en el ámbito de la Arqueología y la Prehistoria, cabe destacar los trabajos de J. Doran, cuyo sistema EOS simulaba la emergencia de “orden social” al final del Paleolítico Medio (DORAN, PALMER 1995a, 1995b), o las investigaciones realizadas por S. Mithen acerca de la aplicación de la simulación al estudio de sociedades cazadoras-recolectoras (MITHEN 1994). Más allá de este ejemplo las Ciencias Sociales, y especialmente la Arqueología, apenas han participado de esta corriente hasta hace pocos años, y no son abundantes los grupos de investigación que han desarrollado o están actualmente desarrollando programas de investigación en esta dirección (BARCELÓ 2009, 2010; COSTOPOULOS, LAKE 2010; KOHLER, VARIEN 2012; FORT 2012; FORT *et al.* 2012).

Sin embargo, durante los últimos años están apareciendo un número creciente de publicaciones que están transformando este panorama. Parte del potencial de la simulación radica en que el software necesario para la implementación de las simulaciones no requiere un conocimiento especializado en programación, es asequible (algunos incluso de libre acceso) y puede ser fácilmente instalado en ordenadores personales, como NetLogo (WILENSKY 1999), RePast (NORTH *et al.* 2007) o Mason (LUKE 2011). Hasta el día de hoy, las corrientes tradicionales de la Arqueología han invertido grandes esfuerzos en el desarrollo de nuevos métodos y técnicas para generar y analizar información, generalmente inconexa, con el fin de describir períodos históricos sin profundizar en los procesos que los definen ni en sus elementos causales. Estas perspectivas se basan principalmente en la recolección y el análisis de datos

con el fin de construir nuevas interpretaciones históricas, o bien corroborar o negar las ya existentes, a través de:

- La descripción y clasificación de elementos, desde la presencia o ausencia de los mismos hasta su estilo y función.
- Una aproximación ‘scalar’ en la que la interpretación de tendencias y procesos históricos se genera a partir de casos de estudio particulares.

Consideramos necesaria una mayor inversión de trabajo que permita concretizar estrategias metodológicas alternativas (pero complementarias) viables para el estudio de eventos y procesos sociales, a fin de aumentar el potencial exploratorio y explicativo de nuestra disciplina.

### 3. EL SALTO METODOLÓGICO

En los últimos años se ha desarrollado una nueva perspectiva que permite empezar a explorar este tipo de escenarios: la Ciencia de la Complejidad (SOLÉ, MANRUBIA 1996; PRIGOGINE 1997; WAGENSBERG 1998; MORIN 2003; MATURANA, VARELA 2004). Definimos un sistema como complejo cuando no es posible entender su funcionamiento a partir del simple estudio de sus componentes individuales (MILLER, PAGE 2007). La complejidad, a caballo entre los llamados sistemas caóticos (difíciles de predecir y estudiar) y los deterministas (en los que el resultado es constante dados los mismos parámetros de entrada), intenta entender cómo la interacción entre los componentes afecta al comportamiento global de dicho sistema. Dado que cualquier sociedad puede ser analizada como un sistema complejo, este desarrollo teórico permite enfocar el estudio de la sociedad humana desde una nueva aproximación basada en la comprensión de procesos globales surgidos a partir del estudio de comportamientos a pequeña escala, conocidos como fenómenos de emergencia. Estos procesos, aunque difíciles de predecir, no llegan a ser caóticos; pueden asumir pequeños cambios en su estado sin que se lleguen a producir consecuencias impredecibles (SAWYER 2005).

En ese sentido, es necesario generar y desarrollar herramientas metodológicas específicas e innovadoras que nos permitan avanzar en el conocimiento de dichos procesos. Para ello, las Ciencias de la Complejidad hacen un uso exhaustivo de la modelización formal. Esta metodología ha sido usada ampliamente en las llamadas Ciencias Formales (Física, Química), pero por diferentes motivos raramente se ha aplicado al estudio de las sociedades humanas (KENNETT, WINTERHALDER 2006). La modelización, tal y como es entendida dentro de las Ciencias Físicas y Naturales, se basa en la explicitación de los diferentes componentes de un sistema y las relaciones existentes entre ellos. Estos modelos explícitos no se crean como herramientas universales, sino que están diseñados para responder a preguntas concretas. El proceso de modelización descarta todo aquello que el o la investigadora crea secundario para

centrarse en los conceptos que realmente pueden responder a una pregunta inicial. Sus definiciones emplean un lenguaje formal que evita ambigüedades y es completo; obliga a definir exhaustivamente todos los procesos, relaciones y variables del sistema (EPSTEIN 2008). Por otra parte, en Ciencias Sociales y Humanas los modelos normalmente son no formales (verbales) e implícitos (las asunciones usadas para construirlo no son explicitadas).

Entre los lenguajes formales empleados es predominante el matemático, con el cual se pueden crear modelos de ecuaciones que, una vez resueltos de manera analítica, permiten entender (e incluso predecir) el comportamiento del sistema. Cuando estas soluciones analíticas son demasiado complejas podemos usar una metodología distinta conocida como Simulación Computacional. Ésta permite por una parte generar y llevar a cabo experimentos en un entorno virtual mediante la implementación de modelos formales, y por otra posibilita la exploración de sus dinámicas de modo exhaustivo y controlado.

En el caso de las Ciencias Sociales, una simulación puede estar basada en la metáfora de una “sociedad artificial”; esto es, un conjunto de agentes con un cuerpo (virtual) que viven “en” e interactúan “con” un entorno concreto (de manera virtual). Ciertos mecanismos sociales de cambio determinan aspectos de la estructura y desarrollo temporal de la población, y por tanto también de la conducta individual. Los agentes presentan objetivos individuales y reglas de conducta dirigidas hacia sus objetivos concretos. Los agentes sociales virtuales “viven” en un entorno poblado por muchos otros agentes, de manera que la ejecución de sus tareas está sujeta a los efectos de las decisiones y acciones de otros agentes. Éstos actúan influidos por otra gente que vivió en el mismo momento, pero también por cualquier cambio en el entorno físico y/o social, por ejemplo, cambio climático, transformación social, etc.

Nuestro propósito principal al aplicar esta perspectiva a nuestra disciplina consiste en estudiar las dinámicas históricas seleccionadas explorando, falsando o testando las hipótesis de trabajo y los modelos creados. Para ello se pretende construir modelos que, lejos de tener como objetivo modelar la globalidad de una realidad social pasada, traten de explorar aspectos concretos, así como sugerir diferentes escenarios para comparar los resultados simulados con los datos empíricos y poder evaluar la “fiabilidad” de los diferentes modelos propuestos. A partir de la clarificación de los presupuestos iniciales, la creación de un modelo permitirá eliminar el “ruido” producido por las variables consideradas innecesarias, delimitando de este modo el marco de trabajo requerido para responder a las cuestiones planteadas. En otras palabras, se trata de hacer los problemas asequibles.

Al mismo tiempo, la Arqueología es una de las disciplinas sociales que pueden contribuir en mayor medida al estudio de los sistemas complejos. Ésta es la única área de conocimiento que permite generar información sobre procesos pasados de tipo social tanto de corta como de larga duración, en una

dimensión temporal que puede ir de días a decenas de miles de años (SHENNAN 2002). Por este motivo las Ciencias de la Complejidad tienen en la Arqueología un campo privilegiado para entender procesos de tipo social y cultural, a la vez que la Arqueología se beneficia de esta nueva perspectiva para mejorar la comprensión sobre la representatividad de los datos recogidos y vincularlos de manera más explícita a las hipótesis formuladas. La complementariedad entre ambos planteamientos es obvia: mientras que el empiricismo propio de la Arqueología normativa presenta un alto grado de incertidumbre y de parcialidad en la generación del registro, la Simulación tiene que enfrentarse a la confrontación de los experimentos generados con los datos empíricos.

La Simulación Social ha venido desarrollándose en tres direcciones durante la última década:

- Una serie de modelos se han implementado para contrastar hipótesis específicas en contextos determinados. Estas simulaciones se denominan modelos facsímil (GILBERT 2008): a partir de una cantidad de datos disponibles se llevan a cabo estudios con objetivos emulativos (tratan de reproducir los fenómenos estudiados).
- Por otra parte, se han llevado a cabo modelos abstractos a partir de hipótesis desarrolladas dentro de la Arqueología o de otras disciplinas (Biología, Ecología, etc). Estos modelos se han usado para generar nuevas teorías y explorar las implicaciones de las previamente formuladas en el contexto dinámico de la simulación (ENQUIST *et al.* 2011; FORT 2012; FORT *et al.* 2012).
- Finalmente, las llamadas simulaciones metodológicas o tácticas permiten explorar los límites y sesgos que el uso de una metodología particular puede tener en relación al objeto de estudio. Así, las simulaciones tácticas pueden servir para mejorar a nivel práctico el modo de trabajo (COSTOPOULOS, LAKE 2010; LAKE 2001).

Estas direcciones de trabajo no son excluyentes entre sí. Además, plantean una serie de cuestiones importantes: Cómo validar los modelos abstractos? Cómo traducir las teorías arqueológicas y antropológicas al lenguaje formal? Cómo pueden afectar las características de este tipo de lenguajes a la construcción de los modelos de tipo social? Cómo comunicar nuestros modelos? Todas estas preguntas, de hecho, constituyen la trama del enfoque transdisciplinar que se pretende construir.

La Simulación Computacional posee un potencial que le permite erigirse en un “caballo de Troya” que pueda acceder a aspectos clave de estudio en nuestra disciplina, como el comportamiento humano, las relaciones sociales y económicas, o los grandes cambios socio-económicos y ecológicos (el desarrollo de la agricultura por ejemplo). Sin embargo, se hace necesaria una profunda reflexión epistemológica y metodológica acerca de su naturaleza, y de las implicaciones que el uso de esta herramienta supone para la Arqueología. La

fácil accesibilidad a los programas no resuelve por sí misma ni la dificultad que presenta la construcción de modelos formales, ni la validación y la posibilidad de transferencia de los resultados de las experimentaciones. Por ello pensamos que el debate sobre este aspecto, tanto entre especialistas como con colegas procedentes de otras disciplinas, puede estimular dicha reflexión.

Hasta ahora buena parte de los modelos de Simulación Social publicados definen las entidades humanas (sean individuos, familias o asentamientos) en base a conjuntos de comportamientos limitados. Este hecho facilita el análisis de los resultados, ya que estos modelos han demostrado que es posible representar patrones extraordinariamente complejos a través de la interconexión de mecanismos informáticos simples.

El proyecto SimulPast pretende avanzar en el desarrollo actual de la simulación a partir de la introducción de la Inteligencia Artificial y la Supercomputación. Los experimentos de modelización social mencionados anteriormente serán complementados con modelos avanzados de comportamiento que proporcionen a las entidades del sistema mayores capacidades en lo que respecta a su conocimiento, decisiones y acciones. Este avance en el área de la Inteligencia Artificial aplicada a sociedades pasadas implicará una mayor inversión en computación, ya que este tipo de algoritmos acostumbra a ser costoso en términos de cálculo. Así, el proyecto desarrollará las herramientas necesarias para aprovechar el potencial de la computación de altas prestaciones, sea a nivel de supercomputadores o de servicios de cloud computing.

Desde nuestra perspectiva, este nuevo panorama, en el que nuevas técnicas van a complementar estudios de corte más tradicional, no permite seguir justificando la negativa a aplicar estos métodos al estudio de la complejidad inherente a las Humanidades y Ciencias Sociales.

#### 4. OBJETIVOS Y ENFOQUE DEL PROYECTO

SimulPast surgió de la toma de conciencia de que la continua sofisticación técnica que se da dentro de la Arqueología no se ve reflejada ni en el correspondiente desarrollo de los presupuestos teóricos y metodológicos, ni en la interpretación de los procesos y mecanismos estudiados (LULL 1999). El proyecto cuenta con objetivos a varias escalas. Por una parte existen unos objetivos substantivos (el análisis de las dinámicas históricas, sociales y ecológicas) que se materializan en el desarrollo de varios casos de estudio, cada uno de los cuales presenta sus propios objetivos específicos. Por otra parte, existen unos objetivos de tipo metodológico, centrados en torno a la idea de transdisciplinariedad que supone, de forma sintética, la adopción de una estrategia de investigación que supera las fronteras entre disciplinas con el fin de crear un enfoque holístico. Otra de sus características definitorias es la colaboración entre las diversas partes involucradas en la definición de objetivos

y estrategias de investigación (responsables y depositarios) con el objetivo de mejorar la difusión de los resultados de dicha investigación no sólo por parte de la comunidad académica, sino también por la sociedad en su conjunto.

En ese sentido, la investigación transdisciplinar se ofrece como uno de los contextos más apropiados para acometer la tarea de generar una nueva manera de estudiar la realidad: «One of the broadly agreed characteristics of transdisciplinary research is that it is performed with the explicit intent to solve problems that are complex and multidimensional, particularly problems (such as those related to sustainability) that involve an interface of human and natural systems [1, 9, 13-16]. The founding idea here is that society is facing problems manifest in the real world that are complex, multidimensional and not confined by the boundaries of a single disciplinary framework. TD research is then characterised by its willingness to engage with these types of societal problems» (WICKSON *et al.* 2006, 1048).

Conceptos como disciplinar, interdisciplinar y transdisciplinar forman parte del argot académico contemporáneo, aunque en determinadas ocasiones estos conceptos son usados sin tener en cuenta las implicaciones que su uso comporta. La investigación disciplinar se desarrolla en el terreno acotado de un área de conocimiento, mientras que la interdisciplinar supone la interacción de dos o más disciplinas concurrentes en beneficio mutuo. Por otro lado, la transdisciplinariedad supone el desarrollo de la investigación de forma conjunta (integrando varias disciplinas) desde el mismo diseño de la misma; para ello es necesario crear una arena común, un nuevo paradigma, en el que confluyan todas las disciplinas implicadas trabajando colectivamente mediante el establecimiento y uso de un lenguaje común.

Somos conscientes de las dificultades que suponen los enfoques transdisciplinares. Gran parte de las investigadoras e investigadores en Ciencias Sociales, por ejemplo, no considera la posibilidad de que sus campos de investigación puedan ser expresados mediante un lenguaje formal. Asimismo, este enfoque conlleva una gran responsabilidad por parte de las personas involucradas: cada participante debe ser consciente de los sacrificios necesarios en aras de la construcción del espacio común de trabajo, acercando lo máximo posible las diversas posiciones teóricas y metodológicas con el objetivo de conseguir el funcionamiento de dicho espacio.

## 5. METODOLOGÍA

La metodología básica que integra el uso de simulación es similar a la usada en experimentación: a partir de una pregunta concreta se generan un conjunto de hipótesis, y posteriormente se implementa un modelo para explorar las posibles respuestas. Este modelo actuará como 'laboratorio virtual' y será ejecutado las ocasiones que se consideren necesarias. Variando las condiciones

iniciales se crearán escenarios diversos que permitirán explorar los efectos que los distintos parámetros tienen en el resultado final. El análisis del conjunto de experimentos permitirá saber bajo qué condiciones las hipótesis iniciales se cumplen dentro del modelo; finalmente, las y los investigadores deberán interpretar estos resultados en relación a las investigaciones socio-históricas desde las que habían surgido las preguntas formuladas en un principio (Fig. 1).

A pesar de que la simulación y la experimentación presenten grandes similitudes, también presentan diferencias. La experimentación está dirigida a clarificar relaciones causales e interdependencias, y ejerce un claro control sobre el fenómeno estudiado. Por otra parte, en el caso de la simulación el control se ejerce sobre el modelo y no sobre el fenómeno en sí.

La forma como se aborda el análisis de estos aspectos en SimulPast resulta innovadora, ya que se realiza mediante la fusión de dos enfoques convergentes. El primero, un enfoque bottom up, estudia procesos que se desarrollan a pequeña escala de análisis. A partir de él se podrán entender fenómenos de emergencia que enlacen estas interacciones menores con consecuencias a mayor escala. El segundo, un enfoque top down, permite comprobar teorías generales mediante el estudio de casos concretos. En este marco de trabajo, el diseño y la elaboración de los modelos representa un aspecto fundamental, dado que es necesario integrar las perspectivas teóricas iniciales con los datos empíricos de los respectivos casos de estudio (arqueológicos, históricos, etnográficos y medioambientales).

Las fases de trabajo concretas en las que se estructura el proceso de investigación en SimulPast son las siguientes:

- Modelo y estructura de datos. Formulación de problemas. Esta fase se basa en la identificación de las líneas de investigación (formulación de hipótesis y análisis exploratorio de fenómenos), así como el reconocimiento de los modelos conceptuales usados por los equipos de trabajo y la selección, estandarización y sistematización de las bases de datos a usar.
- Modelización. A través de los diferentes casos de estudio se pretende definir una serie de metas de investigación comunes, lo que implica un diálogo constante entre los diferentes grupos de investigación con el fin de desarrollar modelos formales a partir de los modelos conceptuales usados en Arqueología.
- Simulación. Los modelos generados en la fase previa serán usados para desarrollar diversas técnicas de simulación social (Agent Based Modelling (ABM), Probabilistic Reasoning and Statistical Learning, Complex Network Analysis, Reactive Random Walks) (Fig. 2).
- Verificación y validación. Se evaluarán los resultados de las fases 2 y 3 y se retornará a la fase de trabajo 1. La principal propiedad de este enfoque es la continua revisión de las hipótesis de partida y de los consecuentes modelos formales generados, lo que permite una evaluación constante de los modelos.
- Difusión. Se llevará a cabo una comunicación efectiva del desarrollo del proyecto, tanto entre la comunidad científica como para el público general. Para ello



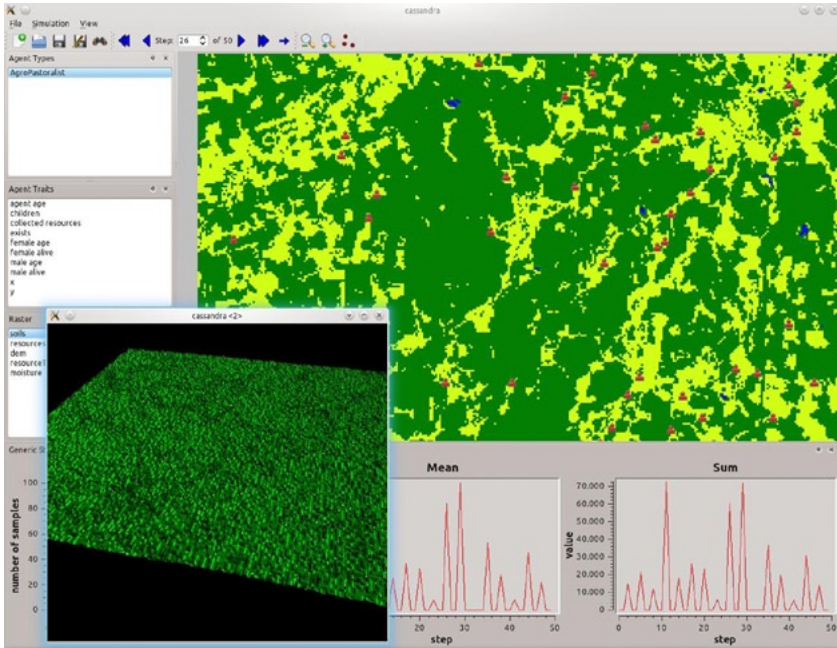


Fig. 1 – La visualización de las simulaciones permite comprobar que el modelo se comporta correctamente.

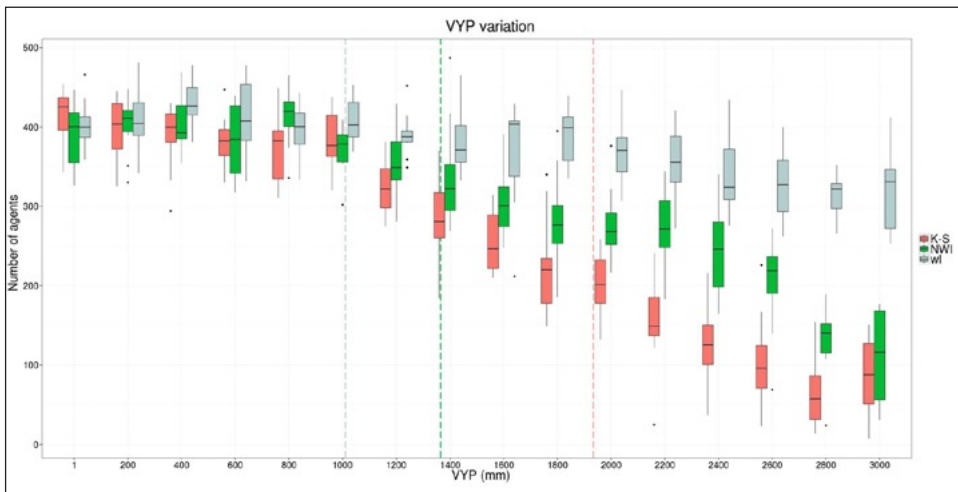


Fig. 2 – El análisis estadístico de múltiples combinaciones de parámetros es esencial para entender la dinámica del sistema (análisis estadístico correspondiente al caso de estudio 1).

se desarrollarán protocolos de actuación, publicación de resultados en revistas académicas, cursos de formación, material audiovisual y páginas web.

Para garantizar el correcto desarrollo de los trabajos, son necesarios protocolos que verifiquen el control, la comunicación y el desarrollo de los trabajos de un modo consistente y coherente. El desarrollo de protocolos que faciliten la comunicación entre investigadoras e investigadores provenientes de campos diversos, como por ejemplo el Overview, Design Concepts and Details (ODD) para los Modelos Basados en Agentes (GRIMM *et al.* 2006, 2010) será en este sentido una de las contribuciones más relevantes de SimulPast al ámbito metodológico. Al mismo tiempo, este trabajo permitirá la interacción entre los modelos de diferentes casos de estudio. Consideramos que este procedimiento de construcción de protocolos permite de modo particular:

- La transferencia efectiva de información entre modelos conceptuales y formales.
- El entendimiento semántico entre personas provenientes de diferentes áreas de conocimiento.
- La correcta construcción de modelos formales que permitan responder a las preguntas generadas por los casos de estudio de modo coherente, consistente y comprensible.
- La replicación, modificación y extensión de los modelos implementados.

## 6. CASOS DE ESTUDIO

Los casos de estudio han sido seleccionados de acuerdo a los objetivos planteados anteriormente. Asimismo, presentan una heterogeneidad en los planteamientos teóricos, objetivos específicos e hipótesis formuladas, lo cual enriquece sobremanera el enfoque transdisciplinar del proyecto<sup>1</sup>. SimulPast se compone de siete casos de estudio aglutinados en torno a tres líneas generales de investigación.

### 6.1 *Dinámicas socio-ecológicas y estrategias de explotación de recursos*

Esta línea incluye los casos de estudio que se enfocan en la investigación de la reciprocidad entre los contextos geográficos/ambientales y las dinámicas y estrategias socio-ecológicas implicadas en los mecanismos de resiliencia y cambio.

– Caso de Estudio 1: Persistencia de cazadores-recolectores en zonas áridas marginales. El caso del Norte del Gujarat (India). El objetivo principal es

<sup>1</sup> Los primeros resultados de los trabajos de los diversos casos de estudio se harán públicos en el número especial de la revista «Journal of Archaeological Method and Theory», que lleva por título *Exploring mechanisms of change through computer simulation in archaeology* (eds. M. Madella and B. Rondelli), el cual se encuentra en preparación.

construir un modelo basado en agentes (ABM) a través del cual estudiar la gestión de recursos y los procesos de toma de decisiones entre los grupos de cazadores-recolectores en el Norte del Gujarat (India) en relación a la coexistencia e interacción con grupos agrícolas y pastoriles a partir de mediados del Holoceno, así como la resiliencia a la variabilidad medioambiental.

– Caso de Estudio 5: Construcción de oasis en Asia Central. El Asia Central es una zona en la que diversos modos de producción pre-industrial han coexistido durante miles de años. Esta coexistencia se define mediante el término “oasis”, y abarca tanto la tierra irrigada como las zonas desérticas y montañosas colindantes. Considerando los oasis como ecosistemas, el caso se enfoca hacia el estudio de la interacción económica y socio-política que se da en dichos ecosistemas entre grupos con distintos patrones de subsistencia (agricultura de irrigación y pastoralismo nómada).

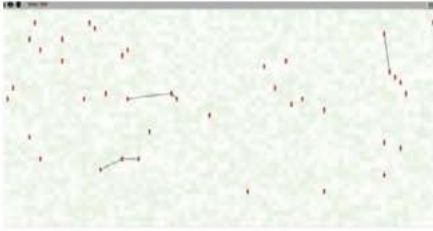
### *6.2 Emergencia de propiedades y dinámicas sociales. Aglutina los proyectos dirigidos a la exploración de cuestiones tales como la etnicidad o la cooperación social*

– Caso de Estudio 2: Surgimiento de la etnicidad en sociedades cazadoras-recolectoras. El caso de Patagonia (América del Sur). A través del estudio etnográfico de diversos grupos humanos de la Patagonia (Mapuche, Günuna-künne, Tehuelche, Selknam, Haush, Chono, Kawésqar, Yámana, etc.), este caso de estudio pretende examinar diferentes hipótesis acerca de la formación de culturas, los patrones de influencia entre los grupos y los diversos comportamientos emergentes (Fig. 3).

– Caso de Estudio 3: Cooperación social en sociedades cazadoras-recolectoras tardías de Tierra del Fuego (Argentina). El presente caso estudia la evolución de los comportamientos cooperativos que se daban a través de eventos de agregación social en la sociedad Yámana mediante el uso de ABM. Las fuentes etnográficas informan de la existencia de agregaciones periódicas debido a la acumulación esporádica de gran cantidad de recursos (una ballena varada por ejemplo). A través de una señal de humo el hallazgo se hacía público y durante el evento la producción, distribución y consumo se llevaban a cabo de manera colectiva y se desarrollaban otras actividades de carácter social.

### *6.3 Difusión y transmisión cultural. Interacciones complejas. En este punto se incluyen los proyectos enfocados hacia la transmisión y difusión de tecnología y conocimiento*

– Caso de Estudio 4: Dinámicas de redes de intercambio en sociedades tempranas de Próximo Oriente (Siria). En este caso de estudio se pretende examinar las redes de intercambio y circulación de obsidiana como materia prima en los inicios del Neolítico en Próximo Oriente. Este estudio parte de



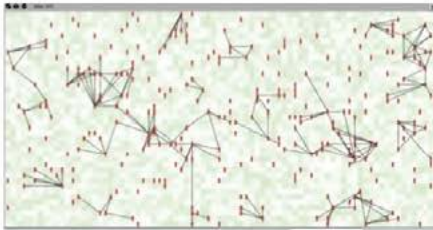
**SCENARIO 1**

Max. Resources 15000.  
 Total Number of Agents after 250 years: 40;  
 Number of agents in social aggregates: 8; isolated agents: 32  
 Number of social aggregates: 8;  
 Number of agents within the largest group: 3  
 Av. Similarity in aggregate: 0.283;  
 Std. Deviation aggregate: 0.452



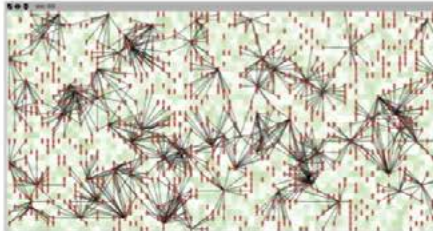
**SCENARIO 2:**

Max. Resources 20000.  
 Total Number of Agents after 250 years: 222;  
 Number of agents in social aggregates: 116; isolated agents: 106  
 Number of social aggregates: 14;  
 Number of agents within the largest group: 29  
 Av. Similarity in aggregate: 0.254; Std. Deviation aggregate: 0.42



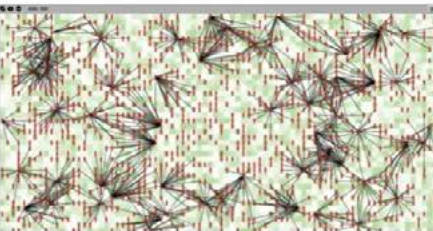
**SCENARIO 3:**

Max. Resources 25000.  
 Total Number of Agents after 250 years: 351;  
 Number of agents in social aggregates: 220; isolated agents: 131  
 Number of social aggregates: 12;  
 Number of agents within the largest group: 45  
 Av. Similarity in aggregate: 0.34; Std. Deviation aggregate: 0.457



**SCENARIO 4:**

Max. Resources 40000.  
 Total Number of Agents after 250 years: 968;  
 Number of agents in social aggregates: 709; isolated agents: 25  
 Number of social aggregates: 2;  
 Number of agents within the largest group: 69  
 Av. Similarity in aggregate: 0.10; Std. Deviation aggregate: 0.272



**SCENARIO 5:**

Max. Resources 50000.  
 Total Number of Agents after 250 years: 1144;  
 Number of agents in social aggregates: 868; isolated agents: 276  
 Number of social aggregates: 1;  
 Number of agents within the largest group: 868  
 Av. Similarity in aggregate: 0.07; Std. Deviation aggregate: 0.237

Fig. 3 – Diferentes escenarios del modelo Patagonia Simple Past 1.5. Se observa como la etnicidad y la territorialidad se expresan mediante redes. Diferentes capturas de la simulación tras 500 unidades de tiempo (equivalente a 250 años). Población fundacional: 300 familias.

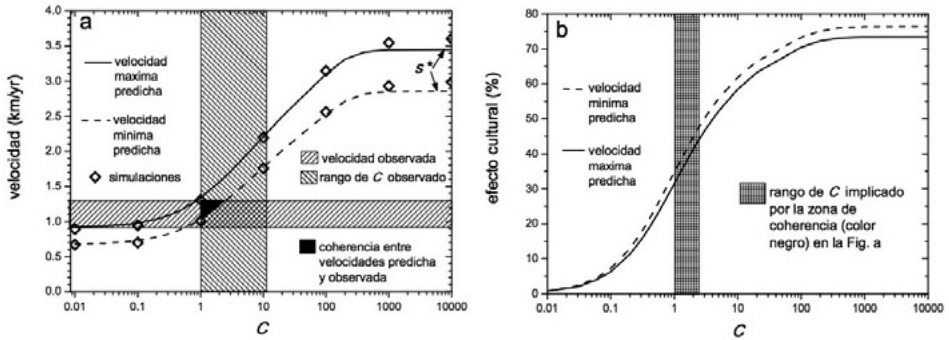


Fig. 4 – Velocidades predichas por un modelo de la propagación del frente neolítico en Europa en función de la intensidad de transmisión cultural  $C$  (a). Estas velocidades implican que el porcentaje de la difusión cultural fue entre un 32% y un 48% (b), según lo cual la difusión démica (movimiento de poblaciones) fue más importante que la difusión cultural (movimiento de ideas) a escala continental (adoptado de FORTE 2012).

una base de datos SIG con información sobre los yacimientos arqueológicos, sus cronologías correspondientes y la cantidad de obsidiana hallada en los mismos, así como su fuente de origen.

– Caso de Estudio 6: Origen y expansión de la agricultura en la Europa prehistórica (Fig. 4). El presente caso se centra en el estudio de las dinámicas espaciales del Neolítico temprano en la Península Ibérica. Se examina la introducción y la expansión del Neolítico en la península con el fin de testar la hipótesis de que dicha introducción se produjo a través de dos vías (la costa mediterránea y desde el norte de África), así como los diferentes ratios de expansión.

– Caso de Estudio 7: Dinámicas de interacción social y adopción de innovaciones en la Prehistoria europea. El caso pretende realizar un análisis geoes-tadístico a través de simulación computacional usando una muestra de cerca de 1.500 dataciones radiocarbónicas provenientes de contextos arqueológicos (Edad del Bronce y del Hierro) de Italia, Francia, Alemania y la Península Ibérica, con el fin de estudiar las probables causas (difusión démica, emulación social o transmisión cultural) de los cambios económicos, sociales y culturales que se dieron en la transición entre las Edades del Bronce y del Hierro.

## 7. CONSIDERACIONES FINALES

Esencialmente, hay tres conceptos clave en la agenda del proyecto: experimentar, compartir y difundir. Compartir los modelos representa el segundo concepto clave para el desarrollo del proyecto. Es por ello que SimulPast impulsa las publicaciones de libre acceso en Internet de todos los modelos realizados (Open ABM, por ejemplo), lo que permitirá el desarrollo y uso de

los modelos implementados por el conjunto de la comunidad en el futuro. Consideramos este punto de trascendental importancia, ya que dentro de las Ciencias Sociales son escasas las ocasiones en que los modelos generados para casos de estudio arqueológicos han sido aplicados a otras realidades, poniéndose a prueba las capacidades metodológicas de nuestras propuestas analíticas.

Una parte importante de nuestra energía se destinará a la difusión de los resultados científicos, así como a lograr que el proyecto se convierta en una plataforma que genere un contexto para desarrollar futuros trabajos. Un apartado primordial será la realización de diversos cursos y tutoriales a varios niveles académicos sobre modelización y Simulación Social. SimulPast ofrecerá el enfoque más transdisciplinar posible a fin de crear perfiles híbridos de investigación que permitan tender puentes que superen las diferencias existentes entre las diversas áreas de conocimiento.

Finalmente, tan sólo cabe apuntar una reflexión final. A pesar de que la gran heterogeneidad existente tanto en los temas de trabajo como en los perfiles académicos implicados pueda parecer una limitación a la hora de generar esa arena común transdisciplinar de la que tanto hemos hablado, constituye en realidad la representación misma de lo que esa transdisciplinariedad supone, siendo la base de la fuerza y capacidad de trabajo e innovación del proyecto. En otras palabras, lo que parece un problema, es en realidad la solución.

JORGE CARO SAIZ, DÉBORA ZURRO, BERNARDO RONDELLI, ANDREA BALBO  
CaSEs, Departament d'Arqueologia i Antropologia  
IMF-CSIC

XAVIER RUBIO-CAMPILLO  
Barcelona Supercomputing Center  
Centro Nacional de Supercomputación

JOAN A. BARCELÓ  
Departament de Prehistòria  
Facultat de Lletres  
Universitat Autònoma de Barcelona

IVAN BRIZ I GODINO  
Department of Archaeology  
University of York

JOAQUIM FORT  
Complex Systems Lab. i Departament de Física  
Escola Politècnica Superior  
Universitat de Girona

MARCO MADELLA  
ICREA, Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats  
CaSEs, Departament d'Arqueologia i Antropologia  
IMF-CSIC

## *Acknowledgments*

El equipo de SimulPast, coordinado por M. Madella, está formado por las siguientes instituciones: IMF-CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Coordinación: Grupo de Investigación CaSEs. Línea: Estabilidad y cambio social en las sociedades humanas: pasado, presente y futuro), Universidad Autónoma de Barcelona (Departamento de Prehistoria, Departamento de Sociología y Laboratorio de Etnoecología, ICTA), Universidad de Barcelona (Departamento de Historia, Historia Antigua y Arqueología), Barcelona Supercomputing Center, Centro Nacional de Supercomputación (Computer Applications in Science & Engineering Department), Universidad Pompeu Fabra (Departamento de Ciencias Informáticas), Universidad de Girona (Departamento de Física), Universidad de Burgos (INSISOC, Departamento de Ingeniería Civil). El proyecto está financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad español (anterior Ministerio de Innovación y Ciencia) dentro del marco del Programa MICINN/MINECO CONSOLIDER-Ingenio 2010 (CSD2010-00034). El presente artículo ha sido escrito por los y las autoras principales, a lo que hay que sumar las ideas y el trabajo de todos los y las integrantes del proyecto. La lista completa se puede consultar en: <http://simulpast.imf.csic.es/sp/index.php/network/team.html>.

## BIBLIOGRAFÍA

- BARCELÓ J.A. 2009, *Computational Intelligence in Archaeology*, Hershey, New York, The IGI Group.
- BARCELÓ J.A. 2010, *Sociedades artificiales para el análisis de procesos sociales en la Prehistoria*, «Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada», 20, 123-148.
- BARTON C.M., ULLAH I., MITASOVA H. 2010, *Computational modeling and Neolithic socioecological dynamics: A case study from Southwest Asia*, «American Antiquity», 75 (2), 364-386.
- BRIZ I. 2003, *¿Una realidad compleja? Apuntes y anotaciones para una teoría emergente en arqueología*, «Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social», 6, 275-302.
- BROWN C.T., WISTCHEY W.R.T. 2003, *The fractal geometry of ancient Maya settlement*, «Journal of Archaeological Science», 30, 1619-1632.
- COSTOPOULOS A., LAKE M.W. (eds.) 2010, *Simulating Change: Archaeology into the Twenty-First Century*, Salt Lake City, University of Utah Press.
- DORAN J.E., PALMER M. 1995a, *The EOS Project: Integrating two models of Palaeolithic social change*, in N. GILBERT, R. CONTE (eds.), *Artificial Societies: The Computer Simulation of Social Life*, London, UCL Press, 103-125.
- DORAN J.E., PALMER M. 1995b, *The EOS Project: Modelling prehistoric sociocultural trajectories*, in L. VALDÉS, I. ARENAL, I. PUJANA (eds.), *Aplicaciones informáticas en Arqueología: Teoría y Sistemas I. Proceedings of First International Symposium on Computing and Archaeology (Paris 1991)*, Bilbao, Denboraren Argia, 183-198.
- ENQUIST M., GHIRLANDA S., ERIKSSON K. 2011, *Modelling the evolution and diversity of cumulative culture*, «Philosophical Transactions of the Royal Society B», 366 (1536), 412-423.
- EPSTEIN J.M. 2008, *Why model?*, «Journal of Artificial Societies and Social Simulation», 11(4)12 (doi: 10.1023/A:1009600530279).
- EPSTEIN J., AXTELL R. 1996, *Growing Artificial Societies. Social Sciences from the Bottom Up*, Washington D.C., Brookings Institution Press.
- FORT J. 2012, *Synthesis between demic and cultural diffusion in the Neolithic transition in Europe*, «PNAS», 109, 46, 18669-18673.
- FORT J., MÉNDEZ V. 1999, *Time-delayed theory of the Neolithic transition in Europe*, «Physical Review Letters», 82, 4, 867-870.

- FORT J., PUJOL T., VANDER LINDEN M. 2012, *Modelling the Neolithic transition in the Near East and Europe*, «American Antiquity», 77, 2, 203-220.
- GILBERT N. 2008, *Agent-Based Models*, Los Angeles, SAGE Publications.
- GILBERT N., TROITZSCH K.G. 2008, *Simulation for the Social Scientist*, New York, Open University Press.
- GRIMM V., BERGER U., BASTIANSEN F., ELIASSEN S., GINOT V., GISKE J., GOSS-CUSTARD J., GRAND T., HEINZ S.K., HUSE G., HUTH A., JEPSEN J.U., JØRGENSEN C., MOOIJ W.M., MÜLLER B., PETER G., PIOUS C., RAILSBACK S.F., ROBBINS A.M., ROBBINS M.M., ROSSMANITH E., RÜGER N., STRAND E., SOUISSI S., STILLMAN R.A., VABØ R., VISSER U., DE ANGELIS D.L. 2006, *A standard protocol for describing individual-based and agent-based models*, «Ecological Modelling», 198, 1-2, 115-126.
- GRIMM V., BERGER U., DE ANGELIS D.L., POLHILL J.G., GISKE J., RAILSBACK S.F. 2010, *The ODD protocol: A review and first update*, «Ecological Modelling», 221 (23), 2760-2768.
- HENRICKSON L., MCKELVEY B. 2002, *Foundations of "new" social science: Institutional legitimacy from philosophy, complexity science, postmodernism, and agent-based modeling*, «PNAS», 99, 3, 7288-7295.
- KENNETT D.J., WINTERHALDER B. (eds.) 2006, *Behavioural Ecology and the Transition to Agriculture*, Berkeley, University of California Press.
- KOHLER T.A. 2011, *Complex Systems and Archaeology*, SFI Working Paper Abstract (<http://www.santafe.edu/media/workingpapers/11-06-023.pdf>; consulted 30-1-2013).
- KOHLER T.A., VAN DER LEEUW S.A. (eds.) 2007, *The Model-based Archaeology of Socionatural Systems*, Santa Fe, School for Advanced Research Press.
- KOHLER T.A., VARIEN M.D. 2012, *Emergence and Collapse of Early Villages: Models of Central Mesa Verde Archaeology*, Berkeley, University of California Press.
- KOSSE K. 2001, *Some regularities in Human group formation and the evolution of societal complexity*, «Complexity», 6, 1, 60-64.
- LAKE M.W. 2000, *Computer simulation of mesolithic foraging*, in G.J. GUMERMAN, T.A. KOHLER (eds.), *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent-Based Modeling of Social and Spatial Processes*, New York, Oxford University Press, 107-143.
- LAKE M.W. 2001, *Numerical modelling in archaeology*, in D.R. BROTHWELL, A.M. POLLARD (eds.), *Handbook of Archaeological Science*, Chichester, John Wiley & Sons, 723-733.
- LEWIN R. 2002, *Complejidad. El caos como generador de orden*, Colección Metatemas, 41, Barcelona, Fundació La Caixa-Museu de la Ciència, Tusquets editores.
- LÓPEZ BORGÑOZ A. 1999, *Modelos, pasado, sistemas complejos y sistema mundial*, in R. de BALBÍN BEHRMAN, P. BUENO (eds.), *Actas del II Congreso de Arqueología peninsular (Zamora 1996)*, III, Alcalá de Henares, Universidad de Alcalá de Henares, 537-550.
- LUKE S. 2011, *Multiagent simulation and the MASON Library*, Fairfax, George Mason University (<http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/manual.pdf>, consulted 30-1-2013).
- LULL V. 1999, *The new technologies and designer archaeology*, in J.A. BARCELÓ, I. BRIZ, A. VILA (eds.), *New Techniques for Old Times. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 26<sup>th</sup> Conference (Barcelona 1998)*, Oxford, BAR International Series 757, Archaeopress, 374-383.
- MATURANA H., VARELA F. 2004, *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*, Buenos Aires, Editorial universitaria Lumen.
- MILLER J.H., PAGE S.E. 2007, *Complex Adaptive Systems. An Introduction to Computational Models of Social Life*, Princeton, Princeton University Press.
- MITHEN S. 1994, *Simulating prehistoric hunter-gatherer societies*, in N. GILBERT, J. DORAN (eds.), *Simulating Societies. The Computer Simulation of Social Phenomena*, London, UCL Press, 165-193.



- MORIN E. 2003, *Introducción al pensamiento complejo*, Barcelona, Gedisa.
- NORTH M., HOWE T., COLLIER N., VOS J. 2007, *A declarative model assembly infrastructure for verification and validation*, in S. TAKAHASHI, D. SALLACH, J. ROUCHIER (eds.), *Advancing Social Simulation: The First World Congress*, Heidelberg, Springer, 129-140.
- PRIGOGINE I. 1997, *Las leyes del Caos*, Barcelona, Biblioteca de Bolsillo, 16, Crítica.
- RAIZA E., PACHANO E., PEREIRA L., TORRES A. 2002, *El paradigma complejo. Un cadáver exquisito*, «Cinta de Moebio. Revista Electrónica de Epistemología y Ciencias Sociales», 14 (<http://www.moebio.uchile.cl/14/frames07.htm>, consulted 30-I-2013).
- RICHARD F. 2009, *Historical and dialectical perspectives on the Archaeology of Complexity in the Sin-Saalum (Senegal): Back to the future?*, «African Archaeological Review», 26, 2, 75-135.
- SAWYER R.K. 2005, *Social Emergence. Societies as Complex Systems*, Cambridge, Cambridge University Press.
- SHENNAN S. 2002, *Genes, Memes and Human History. Darwinian Archaeology and Cultural Evolution*, London, Thames & Hudson.
- SOLÉ R., MANRUBIA S. 1996, *Orden y Caos en sistemas complejos*, Barcelona, Ediciones UPC.
- WAGENSBERG J. 1998, *Ideas sobre la Complejidad del Mundo*, Colección metatemas, 9, Barcelona, Tusquets Editores.
- WILENSKY U. 1999, *NetLogo. Center for Connected Learning and Computer Based Modeling*, Evanston, Northwestern University (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo>, consulted 30-I-2013).
- WICKSON F., CAREW A.L., RUSSELL A.W. 2006, *Transdisciplinary research: Characteristics, quandaries and quality*, «Futures», 38, 9, 1046-1059.

#### ABSTRACT

The use of Computer Simulation for the study of Physics or Biology has its roots in the 1940s. The Social Sciences and Humanities have recently become aware of the heuristic potential computational models have for the study of social dynamics, generating the new field of Social Simulation. Specifically, from the first applications of Computer Simulation to Archaeology, their complementary nature has been proved. Computer Simulation provides an ideal context as a virtual laboratory in which to experiment with dynamic processes and Archaeology provides the possibility of generating information about past social processes, both short and long-term. However, we need to make a profound epistemological and methodological reflection about the nature of this tool and the implications of using it in Archaeology. On this basis, SimulPast aims to develop a theoretical and methodological research platform, which is both innovative and trans-disciplinary. The Project aspires to improve the study of historical, social and ecological dynamics of human societies as well as to stimulate the debate on the scientific research process at large.

