

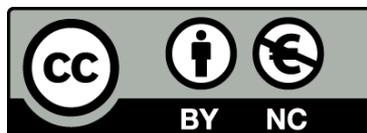


UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Exploración y modelización de patrones socioecológicos y tecnoculturales en sociedades preindustriales de zonas áridas afro-asiáticas

Una aproximación multidisciplinar
desde métodos cuantitativos

Andreas Angourakis



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial 4.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial 4.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0. Spain License.**

1. Presentación

Resumen de capítulo • Este capítulo es una presentación general de la tesis, su motivación, contexto y estructura. Se abre el capítulo con una breve explicación de la trayectoria del candidato (sección 1.1.1), los antecedentes (sección 1.1.2) y el contexto de la investigación realizada, incluyendo los proyectos a los que el doctorando ha estado vinculado (**CAMOTECCER** y **CERAC**, sección 1.1.3; **SimulPast**, sección 1.1.4). A continuación, se exponen los objetivos específicos (sección 1.2) y se presentan los trabajos originales publicados que integran el corpus principal, además de otros trabajos publicados durante el período de investigación predoctoral (sección 1.3). Finalmente, el capítulo cierra con una breve descripción de la estructura de la tesis (sección 1.4).

Resum de capítol • Aquest capítol és una presentació general de la tesi, la seva motivació, context i estructura. El capítol s'inicia amb una breu explicació de la trajectòria del candidat (sección 1.1.1), els antecedents (sección 1.1.2) i el context de la recerca realitzada, incloent-hi els projectes als quals el doctorand ha estat vinculat (**CAMOTECCER** i **CERAC**, sección 1.1.3; **SimulPast**, sección 1.1.4). A continuació, s'exposen els objectius específics (sección 1.2) i es presenten els treballs originals publicats que integren el corpus principal, a més d'altres treballs publicats durant el període de recerca predoctoral (sección 1.3). Finalment, el capítol tanca amb una breu descripció de l'estructura de la tesi (sección 1.4).

Chapter summary • This chapter is a general presentation of the thesis, its motivation, context and structure. The chapter opens with a brief explanation of the candidate's trajectory (sección 1.1.1), the background (sección 1.1.2) and context of the research conducted, including the projects in which the doctoral candidate has participated (**CAMOTECCER** and **CERAC**, sección 1.1.3; **SimulPast**, sección 1.1.4). Next, the specific objectives of the thesis are exposed (sección 1.2) and the original published works that make up the main corpus of the thesis are presented, as well as other works published during the predoctoral research period (sección 1.3). Finally, the chapter closes with a brief description of the structure of the thesis (sección 1.4).

El planteamiento y desarrollo de esta tesis se ha realizado desde la formación generalista e interdisciplinar del doctorando, en combinación con las oportunidades de estudio ofrecidas por los trabajos más recientes de los directores y otros miembros del **ERAAUB** (*Equip de Recerca Arqueològica i Arqueomètrica de la Universitat de Barcelona, Departament de Història i Arqueologia, Universitat de Barcelona*). Concretamente, la tesis recoge las contribuciones del candidato a tres proyectos de investigación: **CAMOTECER** y **CERAC** (sección 1.1.3), por un lado, y **SimulPast** (sección 1.1.4), por otro.

Aunque diversos en temática, estos trabajos se han realizado en un contexto de investigación integrado, compartiendo un objetivo general: definir y explorar **formalmente** un conjunto de **mecanismos** socioecológicos y tecnoculturales, postulados como explicaciones para **patrones** documentados en la **historia** y **arqueología** de sociedades **agropastorales** de las **regiones áridas y semiáridas afro-eurasiáticas**. Este objetivo general se desglosó en *objetivos específicos*, condicionados por la participación del doctorando en los proyectos mencionados (sección 1.2).

Esta tesis se presenta en la modalidad de compendio de artículos, por lo que sus capítulos centrales corresponden a artículos académicos publicados con proceso de revisión por pares. De manera complementaria, se recoge además un capítulo de libro, sin revisión por pares. En el apéndice, se incluye documentación sobre los elementos de software desarrollados por el candidato que acompañan los artículos publicados (sección 1.3).

La aproximación teórica adoptada ha sido fundamentalmente *procesualista*, aunque el doctorando se ha esforzado por integrar muchas de las críticas del *postprocesualismo*. El desarrollo de la tesis se caracteriza por la búsqueda de puentes transdisciplinares a nivel teórico y metodológico, muchos ya consolidados, como aquellos establecidos entre la arqueología, la ecología y la *ciencia de la complejidad*.

Entre los conceptos centrales de esta tesis está el de **mecanismo**. En pocas palabras, *mecanismo* se refiere a un conjunto de elementos interconectados a través de relaciones causales. Los mecanismos seleccionados para los trabajos de esta tesis son versiones generalizables de explicaciones presentes en la interpretación del registro arqueológico en múltiples casos de estudios. Estos mecanismos explican variaciones en el tiempo y espacio de dos importantes tipos de evidencia arqueológica: las **producciones de recipientes cerámicos** y el **uso agropastoral del territorio**. En lo que concierne esta tesis, el primer tipo de evidencia se articula a través del análisis macroscópico (*clasificación tipológica*), microscópico y físico-químico (*caracterización arqueométrica*)

sobre muestras cerámicas, mientras el segundo se construye a través de estudios de síntesis territorial, recogiendo datos de los yacimientos y su contexto medioambiental (*arqueología del paisaje*). Las principales categorías de mecanismos tratados de manera transversal en los trabajos que componen esta tesis son los de **transmisión y evolución culturales, intercambio, competencia y cooperación** (sección 2.2.5).

Desde el punto de vista metodológico, los trabajos realizados para esta tesis se enmarcan dentro de la intersección de los campos de la *arqueología cuantitativa* y la *arqueología digital* (sección 2.1.2), poniendo en práctica específicamente los paradigmas de la **estadística multivariante computacional** y la **modelización basada en agentes** (sección 2.1.3). La tesis tiene un reconocible carácter abstracto y técnico. Por ello, una preocupación constante ha sido hacer su contenido accesible, transparente y reproducible para investigadores, estudiantes y el público general interesado. En este sentido, se ha publicado en línea la práctica totalidad del código desarrollado, acompañados por materiales de documentación y ayuda al usuario.

1.1. Antecedentes y contexto de la investigación

1.1.1. Trayectoria del candidato

Se puede considerar que la trayectoria académica del doctorando empieza en la breve etapa de preparación y acceso a estudios universitarios. En su ciudad de origen, São Paulo, Brasil, tuvo el privilegio de haber tenido una educación bilingüe portugués-castellano en el *Colegio Miguel de Cervantes* (<https://www.cmc.com.br/>). En este centro, disfrutó de un programa generalista que incluía, hasta el último curso de secundaria, contenidos de humanidades, ciencias sociales y ciencias naturales. Ya durante esta etapa, el doctorando se mostró investido en aproximarse en igual medida a múltiples disciplinas, como la física, la biología y la historia, a la vez que su proyecto de futuro profesional se dirigía a la creación y ‘storytelling’ audiovisual. En 2001, mientras realizaba el primer semestre de un grado de comunicación y publicidad (ESPM, <http://www2.espm.br/>), decide presentarse a la *Selectividad* para el acceso de extranjeros a universidades españolas, gracias a la mediación de la UNED y del Colegio Miguel de Cervantes. Dado que sus notas de secundaria no eran excepcionales, no logra acceder a los estudios de comunicación audiovisual de la *Universitat Autònoma de Barcelona* (UAB) ni de la *Universitat Pompeu Fabra* (UPF), con notas de corte

superiores a 8. En un giro arriesgado, opta por su tercera opción, la *Licenciatura en Humanidades* de la UAB, que daba la posibilidad de profundizar simultáneamente en múltiples disciplinas. Este paso es un marco en la trayectoria del doctorando, ya que finalmente pasa a proyectar su futuro en el estudio académico y la generación de conocimiento, pese a no abandonar del todo su interés por la el mundo de la creación. Abandona el grado de comunicación y publicidad, no sin evaluarse en dos asignaturas a las que apreció mucho: *estadística* y *creación artística*.

La titulación en ***Humanidades*** ofreció una aproximación inicial a una gran diversidad de disciplinas, incluyendo historia, geografía, filosofía, literatura, lingüística, psicología, informática, filología, estadística, economía, antropología y sociología, entre otras. Más allá de su contenido, los años invertidos en esta carrera formaron el perfil generalista del doctorando, con la imagen del *humanista renacentista* como ejemplo a seguir. En este sentido, fueron de especial importancia las asignaturas “Món i Cultura”, impartidas por Óscar de la Cruz (*Departamento de Ciencias de la Antigüedad y de la Edad Media*). También en el contexto de esta carrera, el doctorando se vio implicado en la refundación de la *Associació d’Estudiants i Llicenciats d’Humanitats* (AELDHU), participando en la organización de numerosas actividades financiadas de promoción cultural y difusión, dentro y fuera de la universidad.

Sin embargo, hacia finales de este período (2001/2002-2004/2005), el doctorando se vio insatisfecho con la profundidad de sus conocimientos en materia de cambio social y orígenes de instituciones, temas que habían despertado su interés. Por ello, optó por seguir su formación accediendo a la titulación de ***Ciencias Políticas***, también en la UAB. Lamentablemente, al empezar esta nueva etapa, el doctorando no pudo finalizar por completo la licenciatura de Humanidades. Es parte de la política española en educación pública penalizar la matriculación en una segunda titulación universitaria con un incremento de 40% en el precio de crédito, condición que era insostenible para la situación económica precaria del doctorando en aquel momento.

Esta etapa (2005/2006 y 2006/2007) fue de gran aprovechamiento y profundización en ciencias sociales. No obstante, el doctorando percibió que el enfoque dado desde ciencias políticas a las instituciones era esencialmente centrado en el sistema representativo parlamentario, el liberalismo político y el capitalismo industrial, propios de las democracias occidentales del siglo XX. Al menos según la experiencia del candidato con esta disciplina, cualquier consideración sobre formas políticas del pasado se dirige a la

contextualización de las múltiples variantes del Estado moderno (p. ej., el estudio de la democracia ateniense). Afortunadamente, durante el primer curso de esta titulación, el doctorando asiste a una asignatura de introducción a la sociología y recibe el consejo de la profesora a cargo, Pilar Carrasquer Oto (*Departamento de Sociología*), a partir del cual opta por el traslado de expediente al segundo ciclo de la titulación de Sociología.

Sociología es una disciplina con un significativo desarrollo teórico y este período (2007/2008 y 2008/2009) armó el doctorando con los conceptos y problemáticas de teoría social sobre los que trabajaría posteriormente. De especial importancia fueron las clases de Ángeles Lizón (*Departamento de Sociología*), en las cuales se trataron las principales corrientes de teóricos y metodólogos del siglo XX, con especial énfasis en la *sociología analítica* (p. ej., el funcionalismo de T. Parsons y R. K. Merton; la sociofenomenología de A. Schütz, P. Berger y T. Luckmann; el estructuralismo de C. Lévi-Strauss; el interaccionismo simbólico de G. Mead, H. Blumer y E. Goffman; la teoría de la elección racional de J. Elster, R. Boudon, T. Schelling y R. Axelrod; la teoría de la acción colectiva de M. Olson; la *bounded rationality* de H. Simon).

Fue durante su paso por la *Facultat de Ciències Polítiques i de Sociologia* de la UAB que el doctorando aprendió sobre las aplicaciones de la **modelización basada en agentes** en sociología y ciencias políticas, gracias a las actividades organizadas por Francesc Josep Miguel Quesada (*Departamento de Sociología*). Además, fue en estas actividades en las que conoció la existencia de aplicaciones similares también en arqueología, de la voz del profesor Juan Antón Barceló (*Departamento de Prehistoria*). Anteriormente, el doctorando había percibido la arqueología como una disciplina que—aunque fascinante—era estrictamente descriptiva y hasta *historicista*. A partir de este período, el doctorando se familiariza progresivamente con la *teoría arqueológica* en sentido amplio; es decir, la arqueología dedicada también a la generación de teoría y, específicamente, *teoría social*.

Pese a la gran variedad de conocimientos adquiridos en Sociología, siguió creciendo la voluntad de expandir fronteras de conocimiento y efectivamente “hibridizar” disciplinas. Asimismo, como muchos estudiantes, el doctorando se encontraba cada vez más dividido entre el estudio, como actividad no remunerada, y la vida laboral en el sector de servicios. Para satisfacer la inquietud, por un lado, y liberarse temporalmente del trabajo no académico, por otro, el doctorando concursa a una beca Séneca para la realización de un intercambio de nueve meses en la **Universidad de La Laguna** (ULL) en Tenerife, Islas Canarias. Conseguida la ayuda económica, proyecta la matriculación de

los créditos de libre elección acumulados, que le permitieron cursar asignaturas muy diversas, centradas sobre todo en biología: “Ecología”, “Biofísica”, “Prehistoria General”, “Fundamentos de Psicobiología”, “Matemáticas para biología” y “Etología”. Es en este período (2009/2010) cuando el doctorando consolida su primera línea de investigación propiamente *arqueológica*, “modelización del origen de la agricultura desde la dinámica de sistemas”, gracias al consejo de Dimas Martín Socas (*Departamento de Geografía e Historia*) y Néstor Torres Darias (*Departamento de Bioquímica, Microbiología, Biología Celular y Genética*).

De vuelta a Barcelona (2010/2011), el doctorando cursa el **Máster en Arqueología Prehistórica** en la UAB, costeado gracias a la ayuda económica familiar. Este máster introdujo temas variados en arqueología, haciendo hincapié en la arqueología del Mediterráneo y Próximo Oriente, la arqueología de la desigualdad y del origen del Estado y la bioarqueología. En este máster contó con la docencia teórica y práctica de Miguel Molist Montaña, Ermengol Gassiot Ballbé, Rafael Micó Pérez, Xavier Clop García, Roberto Risch, Vicenç Lull Santiago, Karen Hardy, Raquel Piqué Huerta y María Saña Seguí. El trabajo de final de máster, supervisado por Juan A. Barceló, dio continuidad a los trabajos anteriores sobre el origen de la agricultura, recibiendo la máxima calificación. Asimismo, el doctorando realizó su última asignatura de la Licenciatura de Sociología, el “*Practicum de Sociología*”, en el mismo Departamento de Prehistoria de la UAB.

Fue a través de su contacto con Juan A. Barceló durante el curso 2010/2011 que el doctorando pasó a participar en las actividades relacionadas al proyecto **SimulPast** (sección 1.1.4). Entre estas actividades, el doctorando pudo asistir a reuniones relacionadas con el caso de estudio 2, “*The Emergence of Ethnicity in Hunter-Gatherer Societies. The case of Patagonia*”, con la presencia del mismo Juan A. Barceló y de F. J. Miguel Quesada, Florencia Del Castillo Bernal, Igor Bogdanovic y Xavier Vilà. A partir de la obtención del título del máster a finales de septiembre de 2011, el doctorando entra en un periodo de incertidumbre económica, planeando la realización de un doctorado y la presentación a diversas convocatorias de becas.

Durante los siguientes meses, el doctorando participa en las reuniones “Ecotono” del proyecto SimulPast, encuentros informales en el café del *Museu Marítim* de Barcelona, centrados en la discusión de lecturas de artículos sobre aplicaciones de modelos de simulación en la arqueología. En estas reuniones conoce a diversos investigadores y

estudiantes de los demás grupos participantes en el proyecto, entre ellos uno de los encargados de la coordinación del proyecto, Bernardo Rondelli (*SIRIS Academic SL*, entonces asociado a la *Institución Milá i Fontanals-CSIC*), Sebastian Stride (*SIRIS Academic SL*, entonces asociado al *ERAAUB*) y Marco Madella (*ICREA-Universitat Pompeu Fabra*, anteriormente *Institución Milá y Fontanals-CSIC*). Existiendo una fuerte demanda de su perfil en el proyecto, el doctorando es presentado como un posible candidato a un contrato de asistente de investigación con Josep Maria Gurt Esparraguera (investigador principal por parte del *ERAAUB* y codirector de esta tesis). El contrato se dirigía a desarrollar las tareas de modelización y simulación relacionadas con el caso de estudio 5, “*Oasis construction in Central Asia*”. El doctorando es reclutado a finales de 2011 y comienza su etapa predoctoral, matriculándose en el programa de doctorado “*Societat i Cultura*” de la *Universitat de Barcelona*, en el curso 2012/2013.

Esta etapa (2012-2018) fue marcada por el esfuerzo de adaptación tanto a nuevas oportunidades como a condicionantes del contexto de investigación. Con su participación en el proyecto *SimulPast* y su integración a las líneas de investigación del grupo *ERAAUB*, el doctorando tuvo que redirigir su atención a un contexto geográfico e histórico de la Asia Central, prácticamente desconocido para él, además de abordar cuestiones que se alejaban de la línea que había desarrollado hasta el momento (origen de la agricultura). Además, a partir de 2013, el doctorando empezó a participar también en otro proyecto del grupo *ERAAUB*, ***CAMOTECCER*** (sección 1.1.3), dirigido por Verònica Martínez Ferreras (codirectora de esta tesis). Este proyecto no sólo estuvo relacionado al *SimulPast* al compartir su foco en Asia Central, sino que fue un “*spin-off*” del mismo, en tanto que uno de sus objetivos ha sido la innovación metodológica a través de la cooperación entre arqueología y ciencias de la computación. En 2013, el doctorando obtiene, a través de este proyecto, la beca de formación de personal investigador (FPI), ofrecida por el Ministerio de Economía y Competitividad (actual Ministerio de Economía y Empresa). La beca es disfrutada entre enero de 2014 y enero de 2018, período en el cual su investigación se ha centrado en lograr los objetivos marcados en *CAMOTECCER* sin abandonar la investigación prevista en *SimulPast*. El proyecto de tesis se consolidó finalmente como una síntesis del trabajo realizado en ambos proyectos.

A través de la obtención de la beca FPI, el doctorando tuvo la oportunidad de realizar dos estancias de investigación predoctoral financiadas por el Ministerio de Economía y Competitividad. La primera estancia se realizó en el *Institute of Archaeology* de

la *University College of London* (UCL), bajo la supervisión del profesor Mark Lake, durante tres meses (de 22 abril al 31 de julio de 2015). Además del contacto con su supervisor, el doctorando conoció personalmente numerosos investigadores: Patrick Quinn, Mark Altaweel, Andrew Bevan, Manuel Arroyo-Kalin, Marcos Martiñón-Torres, Michael Charlton, Eleftheria Paliou y Chiara Bonacchi. En esta estancia, el doctorando mejoró sus conocimientos sobre métodos y técnicas de modelización y simulación computacional con la ayuda de M. Lake y M. Altaweel, gracias al acceso a los recursos del laboratorio de SIG (Sistemas de Información Geográfica) del *Institute of Archaeology*. Además, se pudo presentar públicamente y discutir el trabajo realizado para el proyecto CAMOTECCER con P. Quinn y M. Charlton, obteniendo valiosos comentarios y sugerencias.

La segunda estancia fue de dos meses (de 10 de abril y el 10 de junio de 2017) en el *Department of History* de la *Carleton University* en Ottawa, Canadá. Mientras la estancia en la UCL fue motivada sobre todo por la centralidad de este centro en el campo de la arqueología, la estancia en Ottawa se dirigió a la posibilidad de aprendizaje y colaboración directa con el supervisor, Shawn Graham. Su perfil abarca a muchas de las prácticas de la arqueología digital, incluyendo la simulación basada en agentes. Entre otras actividades, el doctorando pudo experimentar por primera vez con el desarrollo de aplicaciones interactivas y video juegos, con el objetivo de potenciar la comunicación de la investigación en arqueología digital (modelización, simulación, análisis y visualización de datos). Como prueba de concepto, se inició un prototipo de videojuego que permita la inmersión en primera persona en el más famoso modelo de simulación en arqueología, *Artificial Anasazi*. Asimismo, la colaboración con Shawn Graham introdujo al doctorando en una extensa red de investigadores de éste y otros campos relacionados. Gracias a esta red, el doctorando contribuye al “*Open Digital Archaeology Textbook*” (*ODATE*, <https://o-date.github.io/>), libro abierto y en línea de didáctica de la arqueología digital, cuya primera edición se cerrará en diciembre de 2018.

El doctorando ha presentado comunicaciones en un total de 25 congresos y seminarios monográficos en toda la etapa predoctoral (octubre de 2011-septiembre de 2018), además de asistir a otros eventos y realizar cursos presenciales o en línea. Gracias a su participación en una sesión monográfica en el *82nd Annual Meeting* de la *Society for American Archaeology* (SAA2017), llamada “*Modeling Agro-pastoralism in Eurasia*”, el doctorando se integró en la “*Community for Modeling Agro-Pastoral Lifeways in*

Eurasia” (**C-MAPLE**, <https://sites.google.com/mail.sdsu.edu/cmapple/c-maple-home>). En esta iniciativa, participan 23 investigadores, incluyendo a Isaac I. Ullah (*San Diego State University*), J. Daniel Rogers (*Smithsonian Museum*), C. Michael Barton (*Arizona State University*), David Anthony (*Hartwick College*), Claudia Chang (*Sweet Briar College*), Stefani Crabtree (*Penn State University*) y Bryan K. Hanks (*University of Pittsburgh*).

En la fecha de depósito de esta tesis, el doctorando se ve comprometido con múltiples líneas de investigación, proyectos y comunidades académicas. No obstante, la trayectoria del doctorando ha sido y es *integral*, tanto en lo referente a aprendizaje como a su actividad investigadora. Toda habilidad y conocimiento adquirido para los objetivos en un ámbito han encontrado su utilidad también de cara a otros. De hecho, haber alternado entre líneas de investigación—aunque a veces cognitiva y emocionalmente desgastante—ha traído grandes beneficios. Sobre todo, ha generado un ciclo virtuoso de autosuperación a través del aprendizaje continuo y autónomo. El contacto y colaboración con investigadores con formaciones e intereses muy dispares fue clave para capitalizar este proceso.

Se reconoce que una parte significativa del período predoctoral se ha invertido en el aprendizaje y exploración de caminos nuevos que finalmente no han dado el fruto esperado o no lo han hecho en el plazo esperado. Sin embargo, el doctorando está convencido de que esto es una parte intrínseca del proceso de innovación—y del aprendizaje a cualquier nivel. Parafraseando a Shawn Graham en el mencionado *ODATE* (sección 1.5), el fracaso sólo es de verdad *fracaso* si no es identificado, analizado y compartido; es decir, cuando perdemos la oportunidad de aprender—y enseñar—con ello.

1.1.2. Trabajos del ERAAUB en la región del Surkhan Daria

Las cuestiones tratadas a lo largo de esta tesis se han formulado a partir de la investigación previa realizada por los directores y otros miembros del *ERAAUB* sobre la ocupación humana en diferentes períodos en la cuenca del ***Surkhan Daria***, sur de Uzbekistán. Este territorio se incluye en la histórica región de la **Bactriana** (en griego antiguo; *Bactrish* en persa antiguo; *Bahdi* en avéstico) y se ha identificado como uno de sus cuatro sectores (figura 1.1; Gardin 1985, «sector IV» en Fig. 1). Su mitad

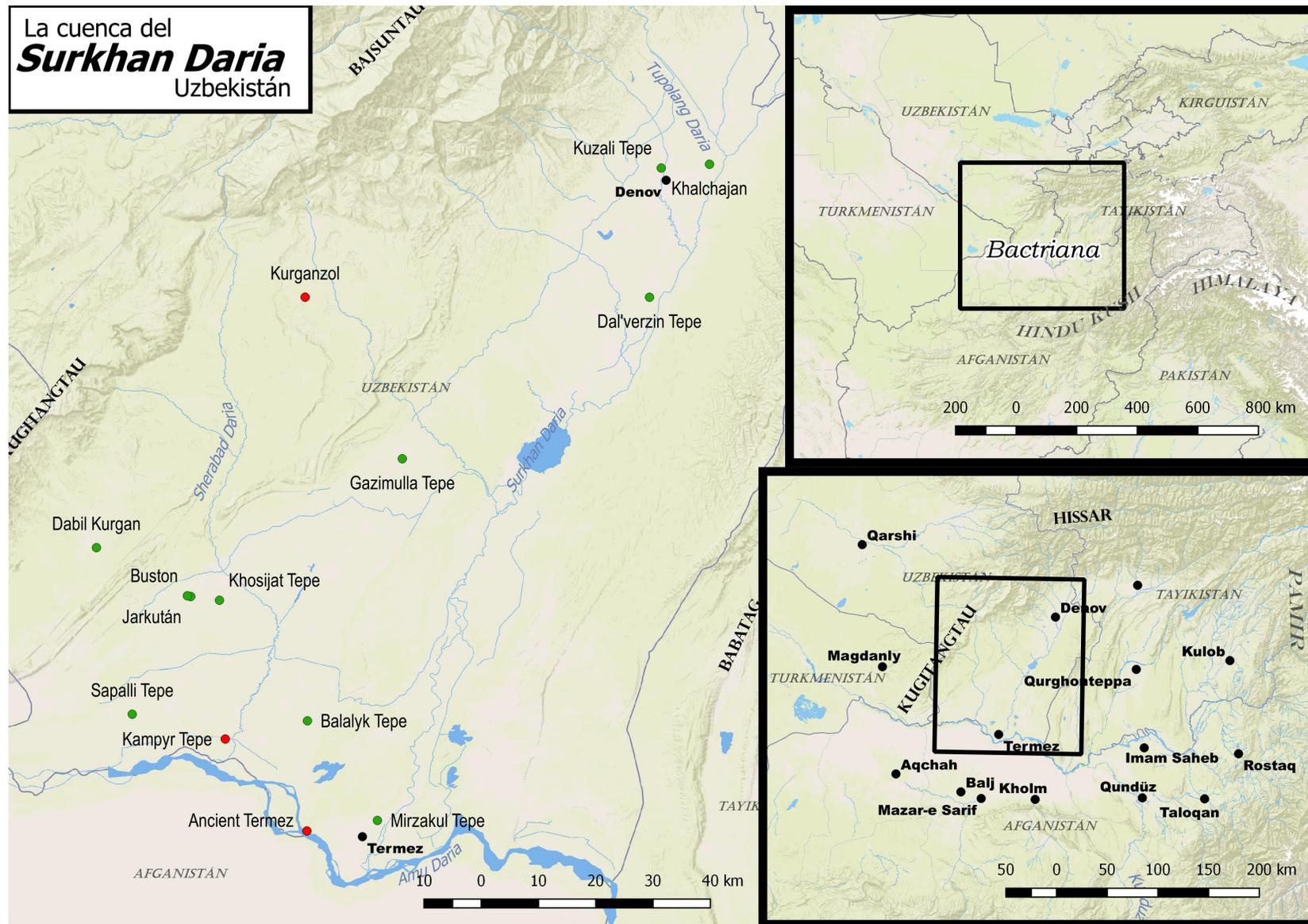


Figura 1.1: Los yacimientos del Surkhan Darya con muestras cerámicas recogidas y analizadas por los miembros del ERAAUB durante el período de desarrollo de la tesis. Se destacan en rojo aquellos yacimientos presentes en las publicaciones asociadas a la tesis. Mapa generado con QGIS, versión 2.18.3 (<https://www.qgis.org>), usando capas de datos de Mapbox (<http://www.mapbox.com>), ©Mapbox ©OpenStreetMap.

septentrional, el alto y medio Surkhan Daria, conforma además otra región histórica, **Chaganián** (*Saganián*, en árabe), cuya primera mención documentada es más tardía (c. 650 d. C., Rtveladze 2009: 21). Desde las primeras nociones geográficas documentadas sobre Asia Central, desarrolladas en tiempos de Alejandro Magno, la cuenca del Surkhan Daria se ha considerado parte de la **Transoxiana** (*Mawarannahr*, en árabe), “que yace más allá del río (Oxus)”, región que se aproxima al territorio del actual Uzbekistán. Actualmente, la mayor parte de la cuenca del Surkhan Daria retiene la entidad territorial como provincia de la República de Uzbekistán (*Surxondaryo viloyati*).

Debido a la falta de normalización internacional, la mayoría de los topónimos de Asia Central asumen múltiples formas en la bibliografía. En este caso, el río Surkhan Daria también se conoce como *Surkhandarya*, *Surxondaryo*, *Surjandarín*, o simplemente *Río Surkhan/Surxon*, ya que “*daria*” es la raíz irania que significa “*grande río*”. A lo largo de esta sección y en los siguientes capítulos, los topónimos y otros nombres propios no españoles se transcriben buscando la mayor proximidad fonética posible, siempre que esto no penalice la búsqueda de información por parte del lector. Tal como pasa en muchos otros ámbitos, esta última condición favorece las transcripciones anglosajonas (p. ej., el uso de ‘kh’ y no ‘j’ para el fonema /x/).

Desde 2006, el Dr. J.M. Gurt puso en marcha la “*International Pluridisciplinary Archaeological Expedition to Bactria*” (IPAEB) en colaboración con el Dr **Shakir R. Pidaev**, director del *Institute of Fine Arts of the Academy of Sciences of Uzbekistan*. En el contexto de esta iniciativa, entre 2006 y 2010, se realizaron una serie de campañas arqueológicas en diversos asentamientos de la antigua **Termez**, incluyendo prospecciones, excavaciones y estudios arqueométricos (Gurt Esparraguera et al. 2007, 2008, 2009; Gurt Esparraguera y Pidaev 2010, 2011; Martínez Ferreras et al. 2014). Estas campañas contaron con la participación de V. Martínez Ferreras y **Sebastian Stride**, entre otros miembros y colaboradores del ERAAUB y del equipo de S. R. Pidaev.

La antigua Termez se encuentra en los márgenes del Amu Daria, aproximadamente a unos 10 km de la actual ciudad de Termez, capital de la provincia del Surkhan Daria. Su situación estratégica como punto de paso del gran río Amu Daria se demuestra hasta la actualidad, estando la localidad bajo control militar durante la guerra afgano-soviética (1978-1992). De hecho, *Tarmita* [* tara-maiθa-], que da origen al nombre *Termez*, es una palabra irania que significa literalmente “asentamiento en el cruce (del río)” (Grenet y Rapin 1998: 84). La antigua Termez ha sido uno de los más importantes centros urbanos

de la región (Leriche 2007, 2013; Leriche y Pidaev 2007, 2008), prácticamente desde el período seléucida (312-245 a. C.) hasta su destrucción por las tropas de Gengis Khan (1220 d. C.). El asentamiento fue un nodo clave de la Ruta de la Seda, conectando Bactra, al sur, con Samarcanda y Ferghana, al norte, y Tashkurgán y Kashgar, hacia el este. Adquirió cierta capitalidad durante los períodos Yuezhi (c. 130 a. C. a 30 d. C.) y Kushán (c. 30 a 225 d. C.), asumiendo además el rol de centro religioso, con la fundación de al menos 10 monasterios budistas (p. ej., Kara Tepe y Fayaz Tepe; Litvinsky, Guang-da y Samghabadi 1996; Staviskii y Mkrtychev 1996). La ciudad tuvo su fase de esplendor durante el período islámico premongol (c. 647 a 1220 d. C.; Asimov y Bosworth 1998; Pugachenkova 2000).

En las diferentes campañas de la IPAEB, el equipo ha podido recoger y analizar un corpus significativo de **muestras cerámicas** que incluye piezas de Termez y otros yacimientos de la región (Martínez Ferreras et al. 2009, 2010, 2011 y en prensa; Gurt Esparraguera et al. 2015). Esta línea de investigación ha tenido continuidad en dos proyectos posteriores, *CAMOTECER* y *CERAC* (sección 1.1.3), gracias a los que se ha expandido considerablemente el número y diversidad de muestras cerámicas y de yacimientos estudiados (figura 1.1). De manera destacada, se ha trabajado con ejemplares de tres yacimientos representativos del período helenístico (c. 330-130 a. C.): la ciudadela de Termez, atribuida a una fundación del período seléucida (Martínez Ferreras et al. [sin fecha]); *Kampyr Tepe* (Martínez Ferreras, Gurt Esparraguera, et al. 2016), un enclave fortificado en la ribera del Amu Daria, unos 30 km hacia el oeste de Termez, fundado probablemente entre el reinado de Alejandro Magno y los primeros seléucidas y ocupado hasta poco después del reinado del kushán Kanishka I (c. 127-150 d. C.; Rtveladze 1994); y *Kurganzol* (Martínez Ferreras, Angourakis, et al. 2016), una pequeña fortaleza en el Piamonte de las montañas *Bajsuntau*, cuya uso se limita a las primeras décadas de dominio macedonio (Sverchkov 2008).

El doctorando ha tenido la oportunidad de contribuir a una parte de estos trabajos (Martínez Ferreras, Angourakis, et al. 2016; Martínez Ferreras et al. [sin fecha]). Asimismo, el objetivo de esta tesis en lo referente a **la síntesis y análisis de datos arqueométricos de cerámicas arqueológicas** (capítulo 3) se ha articulado para abordar las cuestiones planteadas sobre las muestras del Surkhan Daria. En el momento de depósito de esta tesis, el equipo sigue trabajando de forma intensa en esta línea.

En paralelo al estudio de las producciones cerámicas, la IPAEB dio al grupo la oportu-

tunidad de acumular experiencias sobre la arqueología de la zona y participar en la investigación de cuestiones relacionadas con los cambios en el uso del territorio por parte de sociedades del pasado. En 2010, con el impulso de S. Stride, el equipo se unió a la propuesta de un nuevo proyecto de grandes dimensiones, *SimulPast* (sección 1.1.4), con el objetivo de explorar la simulación computacional como metodología para la construcción y contraste de hipótesis en múltiples casos de estudio en arqueología. A partir sobre todo del conocimiento obtenido y los interrogantes levantados con la IPAEB, el grupo formula un caso de estudio sobre **la construcción de oasis ribereños en Asia Central**, poniendo enfoque en la interacción polivalente entre poblaciones *sedentarias* y *nómadas/seminómadas*. Pese surgir a partir del estudio previo del territorio del Surkhan Daria, el trabajo realizado en este caso de estudio buscó desde un principio la generalización a toda Asia Central, especialmente los oasis de Bactra (delta del *Balkh*), Margiana (delta del *Murgab*) y Samarcanda (cuenca del *Zeravshan*).

1.1.3. CAMOTECCER y CERAC

Caracterización y modelización de los procesos tecnológicos en la fabricación de cerámica de sociedades antiguas de Asia Central. Del helenismo al Islam (CAMOTECCER, HAR2012-32653, Proyectos de I+D Ministerio de Economía, Industria y Competitividad)

El Proyecto ha sido dirigido por Verònica Martínez Ferreras (codirectora de la tesis) y se ha extendido por tres años, entre las anualidades de 2013 y 2016, con una prolongación de seis meses hasta julio de 2016. El proyecto CAMOTECCER tuvo como objetivo principal aportar nuevo conocimiento sobre las cerámicas producidas y utilizadas en la antigua **Bactriana** (Asia Central) **desde el período helenístico al islámico** a través de su **contextualización arqueológica** y **caracterización arqueométrica**. La finalidad ha sido determinar los patrones que permitan reconocer las **formas** cerámicas y los **procesos** tecnológicos de fabricación característicos de cada **período** con el fin de poder determinar y evaluar posibles procesos de **interacción cultural** y **transferencia tecnológica** entre las diversas entidades histórico-culturales que ocuparon la región. El doctorando participó en la propuesta de este proyecto y se ha vinculado al mismo a través de un contrato predoctoral FPI (*Ministerio de Economía, Industria y Competitividad*, BES-2013-062691), entre enero de 2014 y enero de 2018. Desde inicios de 2017, la misma línea de investigación se desarrolla en el marco del proyecto

coordinado *Las sociedades antiguas complejas de Asia Central a través de la cerámica. Entre la tradición nómada y las influencias mediterráneas* (CERAC, HAR2016-75133-C3-1-P, Proyectos de I+D Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, 2017-2020), dirigido por los directores de la tesis.

Dada la temática y objetivos del proyecto CAMOTECCER y la naturaleza de los datos disponibles, el trabajo del doctorando en esta línea se ha focalizado en crear y aplicar herramientas para el análisis de datos arqueométricos de diferentes categorías funcionales de envases cerámicos. En colaboración con los demás participantes del proyecto, se ha diseñado una base de datos relacional de muestras de cerámicas arqueológicas. Asimismo, se han explorado numerosas metodologías computacionales para responder a las principales preguntas planteadas en el proyecto CAMOTECCER. Se ha experimentado en mayor profundidad con técnicas de aprendizaje automático (p. ej., redes bayesianas, agrupamiento espectral), con la colaboración de Alexis Torrano (entonces, investigador asociado a *Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación/Universidad Politécnica de Cataluña* y miembro del SimulPast).

Desafortunadamente, se han encontrado obstáculos para la obtención de resultados a corto y medio plazo a través de la vía del aprendizaje automático, dado el volumen y naturaleza de los datos disponibles. Durante el período, también se exploraron métodos de análisis estadístico multivariante, con un enfoque especial en las técnicas para la visualización, detección y evaluación de clases o grupos de observaciones. Los resultados de esta exploración se consolidaron finalmente como cuatro protocolos de análisis estadístico que permiten la exploración de diferentes combinaciones de datos geoquímicos *cuantitativos* y petrográficos *cualitativos*. Asimismo, se han creado y publicado dos paquetes de R (entorno de programación dirigido a la estadística computacional), llamados *cerUB* y *biplot2d3d*. Tanto protocolos como paquetes se presentan en uno de los artículo que recoge el capítulo 3 (sección 3.4, Angourakis y Martínez Ferreras 2018).

La metodología desarrollada, englobando la base de datos y los protocolos, se ha mostrado capaz de acercarnos a la identificación de centros de producción cerámica (*provinciencia*) y la distinción entre producciones cerámicas en función de las cadenas operativas de manufactura (*cambio tecnológico*). En combinación con la contextualización arqueológica e histórica, esta metodología puede ser de gran ayuda para identificar relaciones comerciales e influencias culturales entre comunidades, asentamientos y

regiones o continuidades y cambios entre períodos.

La labor del doctorando en el contexto de los proyectos CAMOTECCER y CERAC se presenta en el capítulo 3, “*Análisis de datos arqueométricos de cerámicas*”.

1.1.4. SimulPast

Social and environmental transitions: Simulating the past to understand human behaviour (SimulPast, CONSOLIDER-INGENIO 2010, antiguo Ministerio de Innovación y Ciencia)

Se trata de un gran proyecto de I+D+i coordinado por Marco Madella (*ICREA-Universitat Pompeu Fabra*, anteriormente *Institución Milá y Fontanals-CSIC*) y su grupo [CaSES](#), en el cual han participado un total de once grupos de investigación de siete instituciones (*Institución Milá y Fontanals-CSIC*, *Universitat de Barcelona*, *Universitat Autònoma de Barcelona*, *Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación*, *Univertat de Girona*, *Universitat Pompeu Fabra*, *Universidad de Burgos*). El grupo representando el ERAAUB y el *Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia* (actual *Departament de Història i Arqueologia*) de la *Universitat de Barcelona*, tuvo a Josep M. Gurt Esparraguera (codirector de la tesis) como investigador principal. La misión del proyecto fue *desarrollar un paradigma metodológico innovador e interdisciplinario para modelizar y simular sociedades del pasado y su relación con un medioambiente cambiante*. En este proyecto se han explorado un abanico de técnicas de formalización y simulación para evaluar su potencial para validar hipótesis sobre transformaciones sociales en el pasado. Para hacerlo, se trabajó paralelamente en siete casos de estudio alrededor del globo que ofrecieran cuestiones de investigación y conjuntos de datos con los que alimentar y guiar el proceso de modelización. El proyecto se extendió desde enero de 2011 hasta junio de 2017.

Desde su vinculación en diciembre de 2011, el doctorando ha preparado su proyecto de tesis en estrecha relación con el caso de estudio 5 del proyecto SimulPast, enfocado en la creación de modelos explicativos sobre *la construcción de oasis en Asia Central*, que posteriormente se definió como *la emergencia y estabilidad de fronteras entre el pastoreo nómada o seminómada y la agricultura sedentaria en Asia Central*. Después de una etapa de discusión y creación de prototipos con la participación de numerosos miembros del proyecto, el doctorando consolidó un modelo muy simple que representaría

un mecanismo de base, la **competencia por el uso de suelo**; dicho modelo fue nombrado *Musical Chairs*, en referencia al *juego de las sillas musicales*. A partir de la publicación de este modelo, el doctorando empezó a desarrollar un segundo modelo en colaboración con Matthieu Salpeteur (antropólogo, entonces contratado como investigador postdoctoral por el mismo grupo ERAAUB), Verónica Martínez Ferreras y Josep M. Gurt Esparraguera. Este modelo, llamado *Nice Musical Chairs*, introduce tres mecanismos socioecológicos sobre la base del anterior modelo, con los cuáles se exploró el impacto de ciertas instituciones sociales en los efectos generados por la competencia por el uso de suelo.

En relación con este proyecto, el doctorando ha buscado comprobar la utilidad para la investigación histórica y arqueológica de los modelos creados seleccionando como prototipo a los muchos oasis ribereños de las regiones áridas o semiáridas de Afro-Eurasia (franja de territorios desde el Sahel hasta Mongolia). Por un lado, ha realizado un intenso trabajo de documentación y síntesis arqueológica, histórica y etnográfica de casos de estudio relevantes para cada mecanismo estudiado. Por otro lado, el doctorando ha combinado el trabajo de diseño e implementación de modelos y procedimientos de análisis con la verificación constante del ajuste frente a los diferentes casos y fenómenos documentados en este tipo de contexto.

A partir de la participación en este proyecto como miembro del ERAAUB, el doctorando contó con la colaboración de diferentes investigadores y grupos de investigación competentes en diversas disciplinas, a los que se suma una red de colaboradores y revisores internacionales. A través de esta red, el doctorando pudo realizar una publicación con Andrea L. Balbo (*Universität Hamburg*, entonces asociado a la Institución Milá i Fontanals), José Ignacio Santos (*Universidad de Valladolid*) y José Manuel Galán (*Universidad de Burgos*), todos miembros del proyecto SimulPast, sobre la cooperación para el almacenamiento de alimentos en sociedades de pequeña escala. Este trabajo desarrolló aspectos comunes encontrados en los diferentes casos de estudio. Pese a distanciarse en contexto geográfico e histórico a los demás trabajos realizados, esta colaboración brindó la oportunidad de, por un lado, refinar la metodología de modelización, simulación y análisis de datos y, por otro, profundizar en ciertas temáticas de teoría social y antropológica, como los dilemas sociales planteados por la teoría de juegos (competir o cooperar) y la transmisión cultural.

Las publicaciones generadas en el contexto del proyecto SimulPast se reúnen en el

capítulo 4, “*Simulación de sistemas socioecológicos*”.

1.2. Objetivos

El objetivo general de la tesis es la generación y contraste de teorías sobre fenómenos documentados por la historia y arqueología en las regiones áridas de Afro-Eurasia. Sin embargo, las metas específicas de esta tesis se estructuran en dos líneas metodológicas, reflejando las diferencias entre interrogantes y desafíos presentes en los tres proyectos en los que el doctorando ha participado:

1. Análisis de datos:
 - a. Explorar diferentes métodos de análisis estadístico multivariante para ayudar en la visualización e interpretación de datos propios de la arqueología y arqueometría.
 - b. Consolidar al menos un protocolo (o rutina) de análisis estadístico que permita visualizar, comparar y presentar datos extensos (muchas variables) y complejos (variables de distinto tipo).
 - c. Validar la metodología con su aplicación a conjuntos de datos de cerámicas arqueológicas con diferentes condicionantes y contextos históricos.
 - d. Viabilizar y publicar la metodología bajo el paradigma de la ciencia abierta (*open science*) para que pueda ser utilizada, adaptada y mejorada por otros investigadores.
2. Modelización y simulación computacional:
 - a. Definir formalmente (es decir, utilizando estándares lógico-matemáticos) un conjunto de mecanismos que describan procesos socio-ecológicos de especial interés para la arqueología y la historia de la Afro-Eurasia árida.
 - b. Diseñar al menos un modelo de simulación computacional que trate cada mecanismo definido, explorando diferentes opciones de modelización para los diferentes aspectos y escalas de interés (por ejemplo, cambios de intensidad y tipos de explotación, cambios demográficos, patrones de asentamiento, estabilidad frente variaciones climáticas, comportamiento e instituciones sociales).
 - c. Explorar, a través de la simulación, los diferentes escenarios ajustados a la casuística geográfica e histórica adecuada a cada mecanismo, haciendo especial hincapié en el contraste de los resultados con las evidencias históricas

y arqueológicas disponibles.

- d. Divulgar modelos y resultados de manera accesible tanto a especialistas como al público general, dirigiéndose especialmente investigadores y estudiantes en arqueología, ciencias sociales y humanidades.

1.3. Artículos y otros trabajos originales

Esta tesis se presenta con el formato de compendio de artículos, cumpliendo la normativa establecida para esta modalidad de tesis por la comisión de doctorado de la *Facultat de Geografia i Història* de la *Universitat de Barcelona*. Para el cumplimiento de la misma y de lo requerido específicamente por el programa de doctorado *Societat i Cultura*, se incluyen seis artículos publicados en revistas académicas con factor de impacto (indexadas en SCI/SSCI/AHCI), clasificadas en el **primer cuartil** de la categoría *Arqueología*. De éstos, cuatro fueron liderados por el doctorando. Todos han sido sometidos a un proceso de revisión por pares.

A continuación, se enumeran, en orden cronológico, las referencias completas de los artículos, así como el índice de impacto y otros indicadores de calidad de la revista correspondiente:

ANGOURAKIS, A., RONDELLI, B., STRIDE, S., RUBIO CAMPILLO, X., BALBO, A.L., TORRANO, A., MARTÍNEZ FERRERAS, V., MADELLA, M. y GURT ESPARRAGUERA, J.M., 2014. Land Use Patterns in Central Asia. Step 1: The Musical Chairs Model. *Journal of Archaeological Method and Theory* [en línea], vol. 21, no. 2, pp. 405-425. ISSN 1072-5369. DOI 10.1007/s10816-013-9197-0. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10816-013-9197-0>. [IF (2017): **2.301**, 5Y-RIF (2016): 2.672, SJR (2016): 1.896, SNIP (2016): 1.613, h5-index (2017): 26, h-index (2017): 43, CiteScore (2017): 2.53]

ANGOURAKIS, A., SANTOS, J.I., GALÁN, J.M. y BALBO, A.L., 2015. Food for all: An agent-based model to explore the emergence and implications of cooperation for food storage. *Environmental Archaeology* [en línea], vol. 20, no. 4, pp. 349-363. ISSN 1461-4103. DOI 10.1179/1749631414Y.0000000041. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1179/1749631414Y.0000000041>. [IF (2017): **1.349**, 5YRIF (2016): 1.165, SJR (2017): 0.848, SNIP (2017): 0.934, h5-index (2017): 16, h-index (2017): 21, CiteScore (2017): 1.07]

MARTÍNEZ FERRERAS, V., **ANGOURAKIS, A.**, HEIN, A., GURT ESPARRAGUERA, J.M., SVERCHKOV, L.M. y SÁNCHEZ DEL CORRAL, A., 2016. Pottery in Hellenistic tradition from ancient Bactria: The Kurganzol fortress (Uzbekistan, Central Asia). *Journal of Archaeological Science: Reports*, [en línea] XX(X):XX-XX. ISSN 2352-409X. DOI 10.1016/J.JASREP.2016.11.049. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.11.049>. [IF (2017): **X.XXX**, 5YRIF (2016): X.XXX, SJR (2017): 0.659, SNIP (2017): 0.963, h5-index (2017): 18, h-index (2017): 8, CiteScore (2017): 1.21]

ANGOURAKIS, A., SALPETEUR, M., MARTÍNEZ FERRERAS, V., GURT ESPARRAGUERA, J.M., FERRERAS, V.M. y GURT ESPARRAGUERA, J.M., 2017. The Nice Musical Chairs Model: Exploring the Role of Competition and Cooperation Between Farming and Herding in the Formation of Land Use Patterns in Arid Afro-Eurasia. *Journal of Archaeological Method and Theory* [en línea], vol. 24, no. 4, pp. 1177-1202. ISSN 1072-5369. DOI 10.1007/s10816-016-9309-8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10816-016-9309-8>. [IF (2017): **2.301**, 5YR-IF (2016): 2.672, SJR (2016): 1.896, SNIP (2016): 1.613, h5-index (2017): 26, h-index (2017): 43, CiteScore (2017): 2.53]

ANGOURAKIS, A., MARTÍNEZ FERRERAS, V., TORRANO, A. y GURT ESPARRAGUERA, J.M., 2018. Presenting multivariate statistical protocols in R using Romanwine amphorae productions in Catalonia, Spain. *Journal of Archaeological Science* [en línea], vol. 93, pp. 150-165. ISSN 0305-4403. DOI 10.1016/J.JAS.2018.03.007. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.03.007>. [IF (2017): **3.061**, 5YRIF (2016): 3.095, SJR (2017): 1.885, SNIP (2017): 1.616, h-index (2017): 99, CiteScore (2017): 2.96]

MARTÍNEZ FERRERAS, V., GURT ESPARRAGUERA, J.M., ARIÑO GIL, E., SANCHEZ DEL CORRAL, A., HEIN, A., ANGOURAKIS, A. y PIDAEV, S.R., [en prensa]. Assessing cultural patterns in ancient Termez (Uzbekistan) through the pottery: from the Hellenistic tradition to the nomadic influences. *Geoarchaeology*, XX(X):XX-XX. [IF (2016): **1.453**, 5YRIF (2016): X.XXX, SJR (2017): 0.823, SNIP (2017): 0.759, h5-index (2017): 16, h-index (2017): 35, CiteScore (2017): 1.32]

Asimismo, para mejor contextualizar la unidad temática y el recorrido de la tesis, se incluyen otros trabajos complementarios. Éstos no cumplen todos los requisitos establecidos por la normativa. Por ello, no se consideran parte del compendio de artículos. Los materiales son los siguientes: un capítulo de libro (Angourakis 2014), publicado sin

un proceso de revisión por pares; dos paquetes de R (Angourakis 2017a; Angourakis y Martínez Ferreras 2017), asociados a Angourakis y Martínez Ferreras (2018); y dos modelos de simulación (Angourakis 2016, 2017b), asociados a Angourakis et al. (2014) y Angourakis (2017b). Las referencias completas se enumeran a continuación:

ANGOURAKIS, A., 2014. Exploring the Oases of Central Asia: a Model of Interaction between mobile livestock breeding and sedentary agriculture. En: B. ANTELABERNÁRDEZ y J. VIDAL (eds.), *Central Asia in Antiquity: Interdisciplinary Approaches*. Oxford: BAR International Series, pp. 3-23.

ANGOURAKIS, A., 2016. «Musical Chairs» (Version 2) [en línea]. 2016. S.l.: *CoMSES Computational Model Library*. Disponible en: <https://www.openabm.org/model/4880/version/2>.

ANGOURAKIS, A., 2017a. biplot2d3d - an R package for generating highly-customizable biplots [en línea]. 2017. S.l.: *Zenodo*. Disponible en: <http://doi.org/10.5281/zenodo.897603>.

ANGOURAKIS, A., 2017b. «Nice Musical Chairs» (Version 5) [en línea]. 2017. S.l.: *CoMSES Computational Model Library*. Disponible en: <https://www.openabm.org/model/4885/version/5>.

ANGOURAKIS, A. y **MARTÍNEZ FERRERAS, V.**, 2017. cerUB - Protocols for exploring archaeometric data (R package) [en línea]. 2017. S.l.: *Zenodo*. Disponible en: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1045020>.

1.4. Estructura

El contenido de esta tesis se divide en cinco capítulos: *1. Presentación*, *2. Introducción*, los dos capítulos centrales presentando el compendio de artículos y otros trabajos (*3. Análisis de datos arqueométricos de cerámicas* y *4. Simulación de sistemas socioecológicos*) y *5. Conclusión*. Además, la tesis se complementa con una extensa colección de apéndices, recogiendo los apéndices de los artículos de los capítulos centrales (apéndice A), además de la documentación y código de los elementos de software creados para la tesis (apéndice B).

En este primer capítulo se ha realizado una **presentación** de la tesis. Se han nombrado los artículos y trabajos incluidos en los capítulos principales (sección 1.1). Se ha

expuesto la trayectoria del doctorando y el contexto académico en el que desarrolló la tesis, incluyendo su participación en los proyectos SimulPast, CAMOTECER y CERAC (sección 1.2). Finalmente, se han detallado los objetivos específicos perseguidos en la tesis (sección 1.3) y, en seguida, se comentará su estructura.

El segundo capítulo es una *introducción* general a los trabajos que componen la tesis. En la sección 2.1, se expone brevemente el *marco teórico-metodológico*, haciendo hincapié en los conceptos de referencia compartidos por todos los trabajos de la tesis. En esta sección, se hace una breve introducción a las metodologías específicas utilizadas, con la definición y descripción de los principales métodos y técnicas y su lugar en referencia a los campos de la *arqueología cuantitativa* y *arqueología digital*. La segunda sección (sección 2.2) ofrece los elementos que componen la unidad temática de la tesis. Se argumenta sobre la Afro-Eurasia árida como unidad geográfica y la comparabilidad de estudios regionales dentro de esta macroregión (sección 2.2.1). Se define el concepto de región histórica y se identifican aquellas regiones de la parte central de la Afro-Eurasia árida más consistentes en el tiempo, según evidencias arqueológicas e históricas (sección 2.2.2). A continuación, se define los límites cronológicos de la tesis (sección 2.2.3) y se presenta un breve resumen de la historia del territorio del Surkhan Daria y la Bactriana, desde la Edad del Bronce (c. 2000 a. C.) hasta la expansión de los mongoles (c. 1200 d. C.), resaltando aquellos aspectos y cuestiones que motivaron e inspiraron la realización de esta tesis (sección 2.2.4). El capítulo cierra enunciando y comentando los mecanismos sobre los que se centra la tesis (sección 2.2.5).

El tercer capítulo presenta en orden cronológico los tres artículos resultantes de la contribución del doctorando en la línea *“Análisis de datos arqueométricos de cerámicas”*. El primer artículo, liderado por V. Martínez Ferreras, versa sobre las cerámicas de la **fortaleza helenística de Kurganzol** (sección 3.2, Martínez Ferreras, Angourakis, et al. 2016), al que el doctorando contribuyó principalmente con el análisis estadístico sobre los datos de composición química generados por el análisis mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX). El segundo artículo, liderado por el doctorando, presenta una nueva metodología que incluye la definición de **cuatro protocolos de análisis estadístico multivariantes** enfocados a los datos de composición química y caracterización petrográfica de pastas cerámicas (sección 3.4, Angourakis y Martínez Ferreras 2018). El tercer artículo, liderado por V. Martínez Ferreras, trata de cerámicas de múltiples contextos de la **antigua Termez**, datando del período helenístico y el subsecuente período yuezhi (sección 3.3, Martínez Ferreras et al. [sin fecha]), al que el

candidato contribuyó también en el análisis de datos químicos.

El cuarto capítulo contiene los tres artículos y el capítulo de libro, liderados por el doctorando, realizados dentro de la línea “*Simulación de sistemas socioecológicos*”. El primer artículo presenta el modelo **Musical Chairs**, sobre la competencia por el uso de suelo entre pastores y agricultores sedentarios en entornos áridos, y se discuten los resultados de su exploración en relación a un repertorio bibliográfico (Angourakis et al. 2014, sección 4.2). En segundo lugar sigue la transcripción del capítulo de libro que versa sobre este mismo tema, pero profundiza en la estructura lógica del modelo (es decir, conexión entre supuestos e implicaciones) y la adecuación de sus resultados en relación a diferentes casos de estudio (Angourakis 2014, sección 4.3). La tercera publicación en esta línea es un artículo que presenta el modelo **Nice Musical Chairs**, que introduce, a la base del modelo anterior, aspectos relacionados a la complejidad social, además de discutir sus resultados bajo la luz de una extensa variedad de conceptos y casos de estudio (Angourakis 2017b, sección 4.4). Por último, el capítulo cierra con un artículo sobre el modelo **Food for all**, trabajo en el cual el candidato pudo centrarse en los aspectos conceptuales del modelo y la lectura de su diseño y resultados en relación a la casuística de sociedades de pequeña escala en el pasado y presente (Angourakis et al. 2015, sección 4.5).

El quinto y último capítulo da *conclusión* a la tesis. En primer lugar, se valora el grado de cumplimiento de los objetivos específicos y se discute la relevancia de los resultados obtenidos para la arqueología e historia (sección 5.1.1). La tesis cierra con algunos apuntes sobre las vías futuras para el desarrollo de sus líneas de investigación (sección 5.1.2).

Exploración y modelización de patrones socioecológicos y tecnoculturales en sociedades preindustriales de zonas áridas afro-urasiáticas

UNA APROXIMACIÓN MULTIDISCIPLINAR DESDE MÉTODOS
CUANTITATIVOS

Andreas Angourakis

dirigida por

Dr. Josep M. GURT ESPARRAGUERA y Dra. Verònica MARTÍNEZ FERRERAS

Tesis presentada para optar al título de *Doctor en Arqueología*
del programa de doctorado *Societat i Cultura*

Barcelona, 25 de septiembre de 2018



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Facultat de Geografia
i Història

Declaración

Certifico que

- I. La tesis incluye solamente el trabajo original del doctorando, excepto donde se indique lo contrario;
- II. Se ha hecho un reconocimiento debido en el texto a todos los demás materiales utilizados.

Resumen/Resum/Abstract



ESPAÑOL • Esta tesis doctoral trata la exploración y modelización formal de patrones socioecológicos y tecnoculturales, así como de algunos de los hipotéticos mecanismos que los explicarían. Los patrones se postulan sobre dos tipos de evidencia arqueológica: las **producciones de recipientes cerámicos** y el **uso agropastoral del territorio**. Los mecanismos tratados se incluyen en los temas generales de **transmisión y evolución culturales, intercambio, competencia y cooperación**. La tesis es el resultado de la combinación del perfil generalista e interdisciplinar del doctorando y las oportunidades brindadas por su participación en tres proyectos de investigación (SimulPast, 2011-2017; CAMOTECCER, 2013-2016; y CERAC, 2017-2020). A pesar de obtener su inspiración en la trayectoria documentada de la ocupación humana de la cuenca del Surkhan Daria, Uzbekistán, se recogen las evidencias dentro del amplio contexto geográfico de la Afro-Eurasia árida. Asimismo, se referencian datos de múltiples períodos, desde la Edad del Bronce hasta la actualidad, con especial énfasis entre 500 a. C. y 500 d. C.

El corpus de la tesis se divide en dos líneas metodológicas, *análisis de datos arqueométricos de cerámicas* y *simulación de sistemas socioecológicos*, ambas enmarcadas en la intersección de la *arqueología cuantitativa* con la *arqueología digital*. Concretamente, se aborda: *las diferencias entre individuos cerámicos, en términos de datos arqueométricos, para la detección de relaciones de intercambio y cambio cultural*, utilizando métodos de estadística multivariante; *la emergencia y estabilidad de fronteras entre el pastoreo nómada y seminómada y la agricultura sedentaria*, utilizando de la modelización basada en agentes; y *las condiciones para la cooperación en el almacenamiento de alimentos en sociedades de pequeña escala*, utilizando también la modelización basada en agentes.

Esta tesis contiene texto en tres idiomas: castellano, inglés y catalán. Mientras los dos capítulos introductorios y las conclusiones fueron redactados en castellano, los artículos que componen el corpus principal se encuentran en su versión original en inglés. Todos los capítulos abren con un resumen en las tres lenguas y todos los artículos tienen su resumen traducido al castellano y catalán. Excepcionalmente, el capítulo de las conclusiones se ofrece en los tres idiomas.





CATALÀ • Aquesta tesi doctoral tracta l'exploració i modelització formal de patrons socioecològics i tecnoculturals, així com d'alguns dels hipotètics mecanismes que els explicarien. Els patrons es postulen sobre dos tipus d'evidència arqueològica: les **produccions de recipients ceràmics** i l'**ús agropastoral del territori**. Els mecanismes tractats s'inclouen en els temes generals de **transmissió i evolució culturals**, **intercanvi**, **competència** i **cooperació**. La tesi és el resultat de la combinació del perfil generalista i interdisciplinari del doctorand i les oportunitats brindades per la seva participació en tres projectes de recerca (SimulPast, 2011-2017; CAMOTECCER, 2013-2016, i CERAC, 2017-2020). Tot i obtenir la seva inspiració en la trajectòria documentada de l'ocupació humana de la conca del Surkhan Daria, Uzbekistan, es recullen les evidències dins de l'ampli context geogràfic de la Afro-Euràsia àrida. Així mateix, es referencien dades de múltiples períodes, des de l'Edat del Bronze fins a l'actualitat, amb especial èmfasi entre 500 a. C. i 500 d. C.

El corpus de la tesi es divideix en dues línies metodològiques, *anàlisi de dades arqueomètriques de ceràmiques* i *simulació de sistemes socioecològics*, ambdues emmarcades en la intersecció de la *arqueologia quantitativa* amb la *arqueologia digital*. Concretament, s'aborda: *les diferències entre individus ceràmics, en termes de dades arqueomètriques, per a la detecció de relacions d'intercanvi i canvi cultural*, utilitzant mètodes d'estadística multivariant; *l'emergència i estabilitat de fronteres entre el pasturatge nòmada i seminòmada i l'agricultura sedentària*, utilitzant de la modelització basada en agents; i *les condicions per a la cooperació per a l'emmagatzematge d'aliments en societats de petita escala*, utilitzant també la modelització basada en agents.

Aquesta tesi conté text en tres idiomes: castellà, anglès i català. Mentre els dos capítols introductoris i les conclusions han estat redactats en castellà, els articles que componen el corpus principal es troben en la seva versió original en anglès. Tots els capítols s'obren amb un resum en les tres llengües i tots els articles tenen el seu resum traduït al castellà i català. Excepcionalment, el capítol de les conclusions s'ofereix en els tres idiomes.





ENGLISH • This doctoral thesis addresses the exploration and formal modelling of socio-ecological and techno-cultural patterns, as well as some of the hypothetical mechanisms that would explain them. The patterns are posited on two types of archaeological evidence: the **productions of ceramic containers** and the **agropastoral use of the territory**. The mechanisms dealt with are included in the general themes of **cultural transmission and evolution, exchange, competition** and **cooperation**. The thesis is the result of the combination of the generalist and interdisciplinary profile of the doctoral student and the opportunities offered by his participation in three research projects (SimulPast, 2011-2017, CAMOTECCER, 2013-2016, and CERAC, 2017-2020). In spite of obtaining its inspiration in the documented trajectory of the human occupation of the Surkhan Daria basin, Uzbekistan, the evidence is collected within the wide geographical context of the arid Afro-Eurasia. Likewise, data for multiple periods are referenced, from the Bronze Age to the present, with special emphasis between 500 BC and 500 AD.

The corpus of the thesis is divided into two methodological lines, *analysis of archaeometric data of ceramics* and *simulation of socio-ecological systems*, both framed at the intersection of *quantitative archaeology* with *digital archaeology*. Specifically, it addresses: *the differences between ceramic individuals, in terms of archaeometric data, for the detection of relationships of exchange and cultural change*, using multivariate statistical methods; *the emergence and stability of borders between nomadic and semi-nomadic pastoralism and sedentary agriculture*, using agent-based modelling; and *the conditions for cooperation for the storage of food in small-scale societies*, also using agent-based modelling.

This thesis contains text in three languages: Spanish, English, and Catalan. While the two introductory chapters and the conclusions were written in Spanish, the articles that make up the main corpus are in their original English version. All the chapters open with a summary in the three languages and all the articles have their summary translated into Spanish and Catalan. Exceptionally, the chapter on conclusions is offered in all three languages.



Agradecimientos

Esta tesis doctoral fue una larga y ardua jornada. Para finalizarla, he tenido la suerte de contar con la ayuda de numerosas personas e instituciones, por las que siento mucha gratitud, respeto y estima.

En primer lugar, agradezco la confianza que se me ha otorgado durante cuatro años a través de la *ayuda para contratos predoctorales para la formación de doctores*, concedida en vinculación a proyectos I+D+i, por el *Ministerio de Economía y Competitividad*, actualmente llamado *Ministerio de Economía y Empresa* del Estado español. A la misma entidad, doy las gracias por la financiación de dos estancias realizadas durante este periodo. Finalmente, este agradecimiento se extiende al conjunto de contribuyentes y a la sociedad catalana que me ha acogido.

Agradezco profundamente a mis directores de tesis, Josep M. Gurt y Verònica Martínez, por la oportunidad de haber trabajado juntos durante estos años, por el apoyo dado en todo momento y—no menos importante—haber tolerado mis manías y digresiones.

La realización de esta tesis no hubiera sido posible sin los numerosos investigadores doctores con los que he tenido el privilegio de colaborar. Emito un agradecimiento especial a aquellos con los que colaboré más estrechamente en la preparación de los trabajos incluidos en la tesis, como Sebastian Stride, Bernardo Rondelli, Marco Madella, Andrea L. Balbo, Xavier Rubio Campillo, Matthieu Salpeteur, José Ignacio Santos, José Manuel Galán, Ano Hein, Ana Sánchez del Corral, Leonid M. Sverchkov, Meritxell Aulinas Juncà, Maite García-Vallès, Enrique Ariño Gil y Shakir Pidaev.

Asimismo, hago homenaje a los investigadores que me han ayudado a elevar el nivel de mi trabajo, antes y durante el periodo doctoral, como Juan A. Barceló, Enrico Crema, Francesc Miquel Quesada, Maria Pereda, Agnese Fusaro, Alessandra Pecci, Débora Zurro, Carla Lancelotti y los muchos y valerosos miembros de la *CoDa Association*. Agradezco también a todos los revisores anónimos que voluntariamente han usado su tiempo y atención para leer, corregir y ofrecer su valioso comentario sobre los artículos integrados en esta tesis doctoral.

La tesis y mi desarrollo como investigador se beneficiaron en gran medida de las tres estancias que he realizado. Por mi estancia en la University College of London, agradezco el acogimiento y atención por parte de Mark Lake, Patrick Quinn, Mark Altaweel y

Mike Charlton. Mi experiencia en Londres no hubiera sido la misma sin el toque sureño de las noches musicales en el *Spiritual Caipirinha* en la con la compañía de Eleftheria Paliou, Chiara Bonacchi y Álvaro Diez. En mi paso por Uzbekistán, soy extremadamente grato por el recibimiento ofrecido por Shakir R. Pidaev y su familia, así como la calurosa hospitalidad jorezmita de Utkir Abdullaev y demás miembros del Departamento de Historia de la *Urgench State University*. Agradezco asimismo a Shawn Graham y la *Carleton University* en Ottawa por recibirme de brazos abiertos. Shawn ha sido para mí la prueba de que la diversidad de intereses y competencias, aunque costosa de mantener, vale la pena.

Pese a que a todos se nos resiste la burocracia—y quizás justamente por eso—debo agradecer el servicio diligente e indispensable del personal administrativo de la *Universitat de Barcelona*, que a lo largo de seis años han gestionado todos los aspectos de mi vinculación a la Universidad. Asimismo, agradezco al personal de limpieza y mantenimiento de la *Facultat de Geografia i Història* que en silencio sostienen la infraestructura que he disfrutado. Por los mismos motivos y por apoyarme como doctorando, agradezco a la *Universitat de Barcelona*, a la *Secció de Prehistòria i Arqueologia* del *Departament de Història i Arqueologia*, además de los demás investigadores miembros del *ERAAUB*.

Es de mención forzosa todos las compañeras y compañeros *predoctorales* con los que he convivido, muchos ya doctores, por su compañía y las muchas conversaciones estimulantes, pero también por darme la oportunidad de intercambiar experiencias de doctorado. Éstos son Irene Esteban, Francesc Conesa, Mónica Alonso, Ágata Rodríguez, Irene Cruz, Fernanda Inserra, Leandro Fantuzzi, Jorge Caro, Maria Yubero, Jonas Alcaina y Juanjo García-Granero. En este mismo espíritu, quiero mencionar a los muchos compañeros pre y posdocs de la “salita”, Maria Clara, Gustavo, Francesca, Javier, Omar, entre otros, además de Anita que nunca andaba lejos. Agradezco a mis amigos *badalonins*, Javier, Francesc, Pep, Marta e Irene, además de Fina, Agustín, María, Goretti y Mariona y familia, entre otros, que han estado todos siempre cerca durante estos años, intentando—en vano—que me explique sobre “qué hago exactamente”. También soy grato a Raquel, por haber compartido conmigo esta intensa etapa, prácticamente hasta su conclusión.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mi familia, que desde el otro lado del Atlántico me ha ayudado con los medios y los ánimos para iniciar mi carrera en el mundo académico. Esta tesis la debo dedicar en particular a mi madre, por haberme despertado desde muy joven el interés por el estudio de la historia.

Índice

Resumen/Resum/Abstract	I
Agradecimientos	v
1. Presentación	2
1.1. Antecedentes y contexto de la investigación	4
1.1.1. Trayectoria del candidato	4
1.1.2. Trabajos del ERAAUB en la región del Surkhan Daria	10
1.1.3. CAMOTECCER y CERAC	14
1.1.4. SimulPast	16
1.2. Objetivos	18
1.3. Artículos y otros trabajos originales	19
1.4. Estructura	21
2. Introducción	24
2.1. Marco teórico-metodológico	26
2.1.1. La ciencia de la complejidad	28
2.1.2. La arqueología cuantitativa y la arqueología digital	36
2.1.3. Datos, modelos y simulación	38
2.2. Unidad histórico-geográfica	42
2.2.1. La Afro-Eurasia árida como unidad geográfica	42
2.2.2. La identificación de regiones históricas	51
2.2.3. Marco temporal	55
2.2.4. Una breve historia del Surkhan Daria y su contexto	56
2.2.5. Mecanismos	73
3. Análisis de datos arqueométricos de cerámicas	78
3.1. Introducción	81
3.2. Pottery in Hellenistic tradition from ancient Bactria: The Kurganzol fortress (Uzbekistan, Central Asia)	88
3.3. Assessing Hellenistic to nomadic cultural patterns through pottery in ancient Termez, Uzbekistan	101
3.3.1. Introduction	103
3.3.2. Natural landscapes and geological background	105

3.3.3. Archaeological evidence	107
3.3.4. Materials	112
3.3.5. Methods	114
3.3.6. Results and discussion	115
3.3.7. Conclusions	138
Acknowledgments	142
References	142
3.4. Presenting multivariate statistical protocols in R using wine Roman amphorae productions in Catalonia, Spain	148
4. Simulación de sistemas socioecológicos	168
4.1. Introducción	171
4.2. Land Use Patterns in Central Asia. Step 1: The Musical Chairs Model .	176
4.3. Exploring the Oases of Central Asia: a model of interaction between mobile livestock breeding and sedentary agriculture	199
4.3.1. Modelling land use in oases of Central Asia	200
4.3.2. The Musical Chairs model	206
4.3.3. Discussion	218
Acknowledgments	226
References	226
4.4. The Nice Musical Chairs model. Exploring the role of competition and cooperation between farming and herding in the formation of land use patterns in arid Afro-Eurasia	231
4.5. Food For All: An Agent-Based model to explore the emergence and implications of cooperation for food storage	261
5. Conclusiones/Conclusions	278
5.1. ESPAÑOL	278
5.1.1. Cumplimiento de objetivos y relevancia de los resultados	278
5.1.2. Vías futuras	280
5.2. CATALÀ	281
5.2.1. Compliment d'objectius i rellevància dels resultats	281
5.2.2. Vies futures	283
5.3. ENGLISH	284
5.3.1. Fulfilment of objectives and relevance of results	284

5.3.2. Future routes	286
Apéndice A: Apéndices de artículos publicados	289
A.1 Análisis de datos arqueométricos	289
5.3.3. A.1.1 Apéndices de ‘Assessing Hellenistic to nomadic cultural patterns through pottery in ancient Termez, Uzbekistan’	289
5.3.4. A.1.2 Apéndices de ‘Presenting multivariate statistical protocols in R using wine Roman amphorae productions in Catalonia, Spain’	296
A.2 Modelización y simulación computacional	417
5.3.5. A.2.1 Apéndices de ‘Land Use Patterns in Central Asia. Step 1: The Musical Chairs Model’ { - }	417
5.3.6. A.2.2 Apéndices de ‘The Nice Musical Chairs Model: Exploring the Role of Competition and Cooperation Between Farming and Herding in the Formation of Land Use Patterns in Arid Afro-Eurasia’ { - }	432
5.3.7. A.2.3 Apéndices de ‘Food For All: An Agent-Based model to explore the emergence and implications of cooperation for food storage’ { - }	455
Apéndice B: Software	463
B.1 Análisis de datos arqueométricos	463
B.1.1 biplot2d3d	464
B.1.2 cerUB	497
B.2 Modelización y simulación computacional	515
B.2.1 Musical Chairs	516
B.2.2 Nice Musical Chairs	533
Lista de figuras	569
Bibliografía	575
