

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

FACULTAT DE GEOGRAFIA I HISTÒRIA
DEPARTAMENT DE PREHISTÒRIA I ARQUEOLOGIA



LA DIVERSIDAD CULTURAL DEL PRIMER NEOLÍTICO (VII Cal. BP) EN EL MEDITERRANEO OCCIDENTAL: UN ANÁLISIS DESDE LOS SISTEMAS COMPLEJOS Y LA SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES

CULTURAL DIVERSITY OF THE FIRST NEOLITHIC (VII Cal. BP) IN THE WESTERN
MEDITERRANEAN: A COMPLEX SYSTEM AND AGENT-BASED SIMULATION APPROACH

TESIS DOCTORAL DE PREHISTORIA

PROGRAMA DE DOCTORADO 3052. PREHISTÒRIA I ARQUEOLOGIA DEL MEDITERRANI

PRESENTADA POR:

SALVADOR PARDO GORDÓ

DIRIGIDA POR:

DR. JOAN BERNABEU AUBÁN

Departament de Prehistòria i Arqueologia. Universitat de València

DR. C. MICHAEL BARTON

Center for Social Dynamics & Complexity. Arizona State University

VALÈNCIA 2015

Als meus pares, Rosario i Santiago

ÍNDICE

Consideraciones previas

- Objetivos 13
- Estructuración del trabajo 14
- Aclaración en torno a la bibliografía 16
- Agraïments 17

Capítulo 1: Introducción

1.1 La expansión del Neolítico en Europa 21

- 1.1.1 La difusión démica 22
- 1.1.2 La difusión cultural 24
- 1.1.3 Eventos climáticos y la expansión de los primeros agricultores 26
 - 1.1.3.1 Los eventos climáticos en el Mediterráneo occidental 27

1.2 El contexto cultural: el Neolítico de las cerámicas impresas 28

- 1.2.1 De las primeras evidencias de las cerámicas impresas a los años 40 29
- 1.2.2 La visión unificadora: el pan-mediterranismo 29
- 1.2.3 Entre la especialización geográfica y el pan-mediterranismo: desde finales de los años 70 a la actualidad 30

Capítulo 2: El registro empírico

2.1 Los datos temporales 35

- 2.1.1 Descripción de la base de datos radiocarbónica 35
- 2.1.2 El marco radiométrico 38
 - 2.1.2.1 Problemática en la selección de la muestras 38
 - 2.1.2.2 El manejo de las fechas radiocarbónicas 42
 - 2.1.2.3 Las distribuciones de la suma de probabilidades de las dataciones calibradas [SCDPD] 43

2.2 Los datos culturales 46

- 2.2.1 Descripción de la base de datos cerámica 48
- 2.2.2 La codificación de la información cerámica 49

Capítulo 3: La esfera teórica: Arqueología evolutiva en el contexto de los Sistemas Complejos Adaptativos

3.1 Los sistemas complejos adaptativos 53

- 3.1.1 Definición y Características de los CAS 55
- 3.1.2 Sistemas complejos adaptativos y arqueología ¿por qué? 57

3.2 La teoría de la evolución 58

3.2.1 Génesis y postulados de la teoría evolutiva 58

3.3 La arqueología evolutiva 61

3.3.1 Misma teoría, diferentes perspectivas: las escuelas evolutivas 62

3.3.1.1 Arqueología seleccionista 62

3.3.1.2 Arqueología cognitiva 63

3.3.1.3 Comportamiento ecológico 65

3.3.1.4 Teoría de la herencia dual 68

3.3.1.5 Teoría de la construcción del nicho 71

3.3.2 La transmisión culturales 73

3.3.2.1 Rutas de transmisión 74

3.3.2.1.1 La transmisión vertical 74

3.3.2.1.2 La transmisión oblicua 74

3.3.2.1.3 La transmisión horizontal 75

3.3.2.2 Mecanismos asociados a la evolución cultural 75

3.3.2.2.1 La variación guiada 76

3.3.2.2.2 La selección cultural 76

3.3.2.2.3 El autoestop cultural 80

3.3.2.2.4 La deriva cultural 81

3.3.3 Críticas a la arqueología evolutiva desde la arqueología evolucionista 82

3.3.4 Posicionamiento del presente trabajo 82

Capítulo 4: La simulación como método

4.1 ¿Por qué Modelar? 88

4.1.1 Clases de modelos 89

4.1.2 Porqué Modelar 92

4.2 La simulación en arqueología: Un recorrido historiográfico 93

4.2.1 La fase pionera [finales de los 60 principios de los 80] 94

4.2.2 Fase de aletargamiento [década de 1980] 95

4.2.3 La “renaixença” [los años 90] 95

4.2.4 La segunda edad de oro [desde la década de los 2000 hasta la actualidad] 96

4.3 Los Modelos Basados en Agentes 99

4.3.1 Definición y características de los Modelos Basados en Agentes 99

4.3.1.1 ¿Qué es un agente? 99

4.3.1.2 Modelos Basados en Agentes: Definición, propiedades y tipología 100

4.3.2 La construcción de los ABM 103

- 4.3.3 Ventajas y límites del uso de los ABM 107
 - 4.3.3.1 Ventajas del uso de los ABM 107
 - 4.3.3.2 Inconvenientes del uso de los ABM 108

4.4 Plataformas de Modelado de Agentes: NetLogo como herramienta complementaria 109

- 4.4.1 Antecedente del NetLogo: StartLogo 110
- 4.4.2 ¿Qué es NetLogo? 110
- 4.4.3 Otras plataformas de Simulación Basada en Agentes 111

Capítulo 5: Un modelo de agentes aplicado a la variabilidad cultural del primer Neolítico en el Mediterráneo occidental

5.1 Especificaciones del modelo 115

- 5.1.1 El modelo de NetLogo 115
 - 5.1.1.1 El “paisaje” virtual 115
 - 5.1.1.2 Las regiones del modelo 119
 - 5.1.1.3 El proceso de expansión 121
 - 5.1.1.4 Algoritmos de interacción 123
 - 5.1.1.5 Almacenamiento de los resultados del modelo 123
- 5.1.2 Análisis de los datos del modelo 124

5.2 Verificación y testeo del modelo 126

- 5.2.1 Verificación de código 127
- 5.2.2 Número de simulaciones [experimento 1] 128
- 5.2.3 Tiempo NetLogo *versus* tiempo arqueológico [experimento 2] 131
- 5.2.4 Número máximo de *ticks* por repetición [experimento 3] 134
- 5.2.5 El parámetro cultural “técnicas” [experimento 4] 137
- 5.2.6 La ratio de mutación [experimento 5] 139
- 5.2.7 El valor ecológico [experimento 6] 141

Chapter 6: Virtual results

6.1 Model effects 147

6.2 Space and time in the model 148

- 6.2.1 Time 148
- 6.2.2 Settlement 149
 - 6.2.2.1 Wave of advance 149
 - 6.2.2.2 Leapfrog 151
- 6.2.3 The colonization of the western Mediterranean: space-time implications 152

6.3 Cultural results 158

- 6.3.1 Data processing and measurement of cultural hitchhiking 158

6.3.1.1 Processing the raw data	158
6.3.1.2 How can cultural hitchhiking be measured?	159
6.3.2 Evolutionary dynamics of cultural variability	160
6.3.2.1 Which correlation should be used? Simple and partial correlations	160
6.3.2.2 Why geographical and not temporal distance?	162
6.3.2.3 Analysis of the correlations	163
6.3.2.4 Exemplifying the behaviour of measurements associated with cultural hitchhiking	166

Chapter 7: Bringing the virtual world and the real world together

7.1 Time and space: time windows and archaeological regions 179

7.1.1 The time windows	179
7.1.1.1 Phase A: “ <i>Impressa</i> ”	179
7.1.1.2 Phase B: “ <i>Late impressa</i> ”	180
7.1.2 The archaeological regions	180
7.1.2.1 Southern Italy	181
7.1.2.2 The Liguria-Provence arc	182
7.1.2.3 The Languedoc	183
7.1.2.4 Eastern Iberian Peninsula	184
7.1.2.5 North-eastern Iberian Peninsula	185
7.1.2.6 South-eastern Iberian Peninsula	185
7.1.2.7 The Algarve	187
7.1.2.8 Tagus Portugal	188
7.1.2.9 Ebro Valley 1	189
7.1.2.10 Ebro Valley 2	190
7.1.2.11 Ebro Valley 3	191
7.1.2.12 Central Peninsula	192

7.2 Pottery decoration as cultural proxy 193

7.2.1 Sites and chronology	193
7.2.2 Analysis of the archaeological record	197
7.2.2.1 Selecting sample size	198
7.2.2.2 Selecting significant regions	201

7.3 Unifying the information: comparing the archaeological results and the virtual results 203

7.3.1 Selection and comparison protocol	204
7.3.2 Excluded scenarios	206
7.3.3 Looking for cultural hitchhiking scenarios	209

7.4 Conclusions, evaluations and suggestions for the future 218

7.4.1 Evaluations	219
-------------------	-----

7.4.2 Suggestions for the future	220
7.4.2.1 Extending the model	220
7.4.2.2 Chronological-cultural aspects	221
7.4.2.3 Processing the results	222

Bibliografía 225

Apéndice A: Las dataciones radiocarbónicas 259

Apéndice B: Colecciones cerámicas y codificación 279

Apéndice C: ODD Cultural Spread Model 291

Apéndice D: Código de programación NetLogo 299

Apéndice E: Código de programación R 319

CONSIDERACIONES PREVIAS

CONSIDERACIONES PREVIAS

Objetivos

La literatura arqueológica centrada en la expansión del Neolítico en Europa aúna sus esfuerzos en la comprensión de la influencia de la difusión de la población frente a la influencia cultural estableciendo que un 40% de la expansión del Neolítico debe asociarse al segundo proceso (Fort 2012). En este cometido, las únicas variables tomadas en consideración corresponden al espacio y el tiempo. En otras palabras, donde hay constancia de grupos neolíticos –sitios arqueológicos– y cuando aparecieron –dataciones radiocarbónicas–. En este contexto, el principal objetivo ligado a la expansión del Neolítico que queremos contestar con la elaboración de la presente tesis doctoral es cuál fue el mecanismo o mecanismos de transmisión (Boyd and Richerson 1985) que afectaron en la formación de las culturas neolíticas del Mediterráneo occidental. Dicho de otro modo, nuestra intención es investigar si existe un patrón cultural claro que podría estar relacionado con una expansión desde el sur de Italia, y si dicha “homogeneidad” debe asociarse a la hipótesis del autoestop cultural –*Cultural hitchhiking*–. Esta hipótesis (Whitehead 2005; Ackland et al. 2007; Kopps et al. 2014) es la analogía del autoestop genético (Smith and Haigh 1974; Barton 2000). Este, el autoestop genético o arrastre por ligamento, implica que junto al incremento de la frecuencia de un gen ventajoso se incrementa también la frecuencia de los genes neutros que están ligados al gen seleccionado. La analogía cultural aplicada en la presente tesis supone que junto al gen ventajista que se expande [selecciona]– “*genes económicos*”: agricultura y ganadería– también hay una selección de otros genes neutros – “*genes culturales*”: técnicas decorativas–.

Por lo que respecta a la cronología asociada al proceso de neolitización del Mediterráneo occidental abarca en torno a 2000 años en cronología radiocarbónica, ya que la fecha más antigua realizada sobre vida corta conocida hasta la fecha corresponde al yacimiento de Favela que se localiza en la península de Calabria (Tiné 2009), mientras que la datación mas reciente –vida corta– asociada a un nivel de neolítico antiguo corresponde al yacimiento de la Cueva del Mirón que se sitúa en el norte de la península Ibérica (Peña-Chocarro et al. 2005). En nuestra investigación nos centraremos en las primeras producciones cerámicas que caracterizan este proceso en las diferentes regiones geográficas consideradas.

En definitiva, desde una perspectiva basada en la teoría evolutiva y los Sistemas Complejos Adaptativos –CAS– se pretende contestar los objetivos planteados, ya que los postulados evolutivos permiten establecer las reglas y habilidades de los agentes (Miller and Page 2007, 180), así como las propias características de los CAS permitirá elaborar diferentes modelos con los que se obtendrán numerosos resultados para ser comparados con el registro arqueológico

disponible. En este sentido se podrá demostrar que la simulación computacional y el Modelado Basado en Agentes constituyen una herramienta muy rigurosa para tratar y abordar la complejidad del proceso de expansión de los primeros grupos de agricultores. También estamos en disposición de afirmar que los modelos “*bottom-up*” desarrollados bajo el marco metodológico de Sistemas Multi-Agente en las Ciencias Sociales y Humanas, no son una preferencia investigadora por la necesidad de ir a la última tendencia del que suscribe estas líneas sino, más bien, una necesidad de progreso científico.

Estructuración del trabajo

Nuestra Tesis Doctoral se estructura en 7 capítulos con los apéndices correspondientes, 5. Los dos primeros capítulos podrían conformar una primera sección en la que se presenta el estado actual de la problemática analizada y los datos arqueológicos que hemos considerado recopilar para nuestra investigación. Los capítulos tercero y cuarto forman la esfera teórico-metodológica de la tesis, el primero de ellos se centra en las cuestiones teóricas y el segundo en la cuestión del método utilizado haciendo hincapié en la importancia de la modelización computacional aplicada en la Arqueología. El capítulo quinto y sexto corresponden a la aplicación del Modelo Basado en Agentes diseñado, la descripción de los experimentos iniciales centrados en observar el funcionamiento del modelo de expansión cultural y el análisis de los resultados obtenidos con la simulación. Por lo que respecta al séptimo, y último, nos centraremos en comparar los escenarios virtuales más posibles con el registro arqueológico disponible; finalizando con un decálogo de propuestas de futuro.

De forma más específica, el primer capítulo consiste en una introducción donde repasamos diferentes cuestiones. En primer lugar presentaremos el estado actual de la expansión del Neolítico en el continente Europeo haciéndose hincapié en los trabajos donde la modelización es la base. El estado actual de la problemática se divide en dos grandes grupos o tendencias de investigación, las posturas donde el movimiento de población es la base, difusión démica y en segundo lugar la línea de investigación que aúna sus esfuerzos en relacionar la expansión del Neolítico con la transmisión de la información, difusión cultural. Finalmente en este capítulo de introducción se justificará el ámbito geográfico que abarca nuestro trabajo, el Mediterráneo occidental, a partir de un revisión historiográfica del neolítico en el área.

En el segundo capítulo se presentan y explican los datos arqueológicos utilizados que se dividen en dos conjuntos. El primero de ellos corresponde a las variables espaciales y temporales, en otras palabras, la localización geográfica de los yacimientos arqueológicos y su cronología radiocarbónica. El segundo conjunto de datos hace referencia a las variables culturales –técnicas cerámicas– que se han considerado recopilar y como se han sido tratadas.

La esfera teórica corresponde al tercer capítulo. En este se presentan dos cuestiones fundamentales ligadas al método utilizado en esta Tesis Doctoral. En primer lugar nos centraremos

en la teoría de la complejidad y más en concreto en los Sistemas Complejos Adaptativos, ya que son la base que permite entender las cuestiones asociadas a la modelización. El segundo cuerpo teórico utilizado corresponde la Teoría de la Evolución debido a que corresponde a la base sobre la que ha sido desarrollado la hipótesis del autoestop genético y su analogía cultural; siendo en este capítulo dónde se desglosa nuestra visión de la teoría del autoestop cultural aplicado a las primeras sociedades agricultoras. Finalmente el capítulo termina con las críticas que existen en torno a la arqueología de la evolución así como nuestro posicionamiento.

En el cuarto capítulo nos centramos en la cuestión metodológica y más en concreto en los Modelos Basados en Agentes. En este sentido, se realiza una introducción a la importancia de la modelización en las ciencias humanas. También se hace un recorrido a la aplicación de esta metodología en la literatura arqueológica. La parte central del capítulo se centra en los Modelos Basados en Agentes, cuestiones de nomenclatura así como las ventajas e inconvenientes de su uso. Al final del capítulo nos centramos en las diferentes plataformas asociadas a la simulación computacional con agentes, destacando el software NetLogo.

En el quinto capítulo se hace hincapié en la descripción del modelo basado en agentes que hemos diseñado, y que puede descargarse en <https://www.openabm.org/model/4592/>. En este capítulo se realiza una descripción detallada de cómo se ha construido el mundo, las reglas de interacción entre las diferentes celdas así como el proceso de guardar los resultados. Este capítulo finalizará con la descripción de las herramientas estadísticas utilizadas para el tratamiento de los resultados del modelo.

Debido a los requerimientos exigidos en la normativa que regula la mención internacional de doctor, los dos últimos capítulos de nuestra investigación han sido redactados en inglés. En el sexto capítulo se realiza una descripción pormenorizada de los resultados virtuales obtenidos remarcando aquellas cuestiones asociadas al tiempo, espacio y sobre todo a las cuestiones culturales. En este capítulo se presentan las tres medidas estadísticas que utilizaremos para el análisis de nuestros resultados, centrándonos en la posible existencia de un autoestop cultural en los diferentes escenarios obtenidos.

Por lo que atañe al último, el séptimo capítulo, versa en torno al registro arqueológico, es decir, aunaremos nuestro esfuerzo en analizar los resultados reales para poder comprender si la información arqueológica disponible esta relacionada con una posible influencia del autoestop cultural. Para ello, realizaremos en la primera parte una justificación de las ventanas temporales y las regiones geográficas que se han decidido utilizar para comparar con los datos virtuales. El siguiente punto, consiste en presentar los datos arqueológicos asociados a cada fase temporal definida y su comparación con el registro arqueológico. Este capítulo finalizará con una discusión sobre los resultados obtenidos a la vez que se presentarán las posibles líneas de actuación para el futuro.

Aclaraciones

El apartado bibliográfico de la presente tesis se ha realizado mediante el software de código abierto Zotero –vocablo albanés [zotëroj] que se traduce como poseer y/o dominar–, que se desarrolla el *Center for History and New Media* de la *George Mason University*. La razón de la utilización de este gestor bibliográfico respecto a otros –Mendeley, EndNote...– reside básicamente en tres cuestiones fundamentales; a) Debido a sus características de código abierto y compatible con el procesador de texto LibreOffice, también de código abierto, utilizado en este trabajo. b) Sus características propias de obtención de citas de bibliografía de forma rápida y óptima respecto a otros gestores. c) Finalmente, y una de las principales razones en decantarnos por la utilización del gestor bibliográfica Zotero reside en la optimización del tiempo en la introducción de bibliografía, reduciendo de forma exponencial la dedicación al apartado bibliográfico. Así que cualquier error u omisión en el apartado bibliográfico debe asociarse al autor del trabajo y no al gestor bibliográfico utilizado. Para las normas bibliográficas hemos utilizado el manual de estilo de Chicago en su 16ª edición –<http://www.chicagomanualofstyle.org/tools.html>–, y más en concreto las normas de *Taylor and Francis Chicago F*, con la excepción de la webgrafía que se presentada como una nota de pie dónde se referencia el enlace y la fecha de consulta. Mientras que en torno a la ortografía, hemos adaptado nuestro trabajo a los cambios realizados pro la Real Academia Española –RAE– en 2010, que residen en la eliminación de la tilde en los demostrativos, en la “o” entre números y en la palabra solo cuando se utiliza como sinónimo del adverbio “solamente”.

Finalmente, en torno a las fechas radiocarbónicas, debido a que no existe un consenso en torno a que calibración y formato se debe utilizar, nosotros utilizaremos su calibración a 2 sigmas –95% de probabilidad– y siempre se representarán formato cal. BP.

AGRAÏMENTS

Es complicat citar tota la gent que de forma directa o indirecta ha estat al meu costat durant aquests anys, així que si algú o alguna no es troba reflexat en aquestes línies no ha de tenir cap mena de dubte el meu agraïment. En primer lloc, al Ministerio de Economía y Competitividad per concedir-me una beca de Formació de Personal Investigador, ja que el fet de gaudir d'aquest finançament ens ha permès elaborar aquesta Tesi Doctoral

Al director d'aquest treball, Dr. Joan Bernabeu Aubán per moltes raons: confiança, ànims, supervisió i reorientació. També per la seua ajuda desinteressada en l'elaboració de la part gràfica preliminar, per acceptar dirigir aquesta Tesi Doctoral “arqueomàtica”, per la seua ajuda en la revisió de les col·leccions ceràmiques consultades i el seu finançament per pagar algunes despeses associades al treball. Així que moltes gràcies per tot.

En segon lloc al meu co-director, Dr. C. Michael Barton per acceptar la co-direcció d'aquest treball, així com el fet que sempre ha estat al “otro lado” per contestar els dubtes i trau- re temps per revisar allò que li plantejava. També remarcar que ha estat ell qui m'ha educat en l'utilització de la simulació en Arqueologia, un camp que de segur al futur tindrà més seguidors. També vuc donar-li les gràcies per ser un magnífic Ciceró durant les meues estades a *Arizona State University*, ajudar-me amb els tràmits burocràtics i, sobre tot, per obrir-me les portes de casa seua per a qualsevol necessitat.

Durant les meues estades ha estat molta gent la qual m'ha ajudat. En primer lloc al Dr. Robert Boyd el qual em mostrà l'importància de la teoria de la evolució per poder explicar els processos històrics i que tot pot arribar a ser quantificat. També donar-li les gràcies per la seua paciència en moments on la llengua o els números feien que les nostres converses foren un poc més denses de l'habitual. Menció especial mereixen Wendy Cegielski i Justin Rego els quals m'acolliren a la seua casa durant la meua segona estada als EEUU. No vuc oblidar-me de Sean M. Bergin pels seus consells i revisions del model d'agents, ja que sense la seua ajuda aquest treball mai hagués vist la llum. Finalment, donar les gràcies a Carlos i Ana que m'ajudaren a oblidar que estava a 7000 kilòmetres de la meua gent, a més a més a Carlos vuc agraïr-li també la seua disponibilitat per contestar sempre que em sorgien dubtes amb el paquet de R “*ggplot2*”.

Als Drs. Pedro Díaz del Rio, Miquel Molist, Antonio Valera i la Dra. Claire Manen per permetre'm accedir al material inèdit que ha estat utilitzat en aquesta investigació. Igualment, a Vero Balsera amb la que he compartit moltes bases de dades radiocarbòniques i alguna que altra discussió al voltant del radiocarboni i la utilització de la simulació computacional en l'arqueologia.

A tota la gent del Museu de Prehistòria de València i en especial a Yolanda, Celeste, Isabel i M^a Luz, les quals sempre han estat disposades a ajudar-me. Menció especial mereix el Dr. Bernat Martí Oliver, del Servei d'Investigació Prehistòrica de València, el qual sempre ha tingut

la porta del seu despatx oberta per resoldre dubtes, recomanar bibliografia, en definitiva xarrar. No oblidaré mai la primera frase que em va dir: “*estudia molt que el temps passa ràpid*”.

A tots els companys i companyes del Departament de Prehistòria i Arqueologia, en especial al Dr. Agustín Díez Castillo per ensenyar-me tot allò que sé a l'àmbit de l'informàtica, des de com elaborar “*un mapa bonito*” fins a la utilització del software R, i en segon lloc a la Dra. Oreto García Puchol la qual ha confiat sempre en mi, m'ha donat suport i m'ha recomanat bibliografia bàsica al voltant del radiocarboni. Al Dr. Joan Emili Aura Tortosa qui sempre ha estat molt interessat pel funcionament de la “*termomix*”, sempre ha contestat les preguntes i dubtes i m'ha donat ànims. També a les secretàries del Departament Concha, Maria Jose i Maite per ajudar-me amb tota la paperassa burocràtica des del primer dia. Finalment, al trio “*frontonero*” Guillem Pérez, Lluís Molina i Pau García, els quals han sabut escoltar i donar-me consell des de que vaig començar amb aquest treball.

Per altra banda, també vuc donar les gràcies al Servei d'Informàtica de la Universitat de València per permetre'm utilitzar el multiprocessador per a realitzar les simulacions d'aquest treball, i molt especialment a Josep Vicent Sala Siscar, qui sempre ha estat disposat a contestar els meus dubtes i sobretot problemes quan llançava els treballs.

Finalment, a la gran família de l'Ateneu Musical i Cultural d'Albalat de la Ribera així com als *Pouet's team*, que han estat necessaris per oblidar els problemes associats a la Tesi Doctoral. Menció especial mereix la meua família, a la qual vull donar les gràcies pel seu suport incondicional. Gràcies als meus pares i a Tati. També a Lucas, el meu gos, el qual m'ha fet companyia durant el meu “*cautiveri*” a la ombria de la Serra de la Mariola. Finalment, a Paloma, qui ha estat sempre al meu costat i aquest treball també és teu; moltes gràcies per estar ahí, recolçar-me i donar-me l'alè necessari per poder acabar, sense tu aquesta tesi no hauria arribat a bon port.

GRÀCIES

INTRODUCCIÓN

La cuenca del Mediterráneo es un concepto geográfico con connotaciones histórico-culturales y está dividida por la barrera subterránea existente desde Túnez a Sicilia en dos cuencas, la oriental y la occidental, siendo la segunda donde se centra la presente tesis doctoral, el Mediterráneo occidental. Esta es una cuenca joven (Rodríguez Martínez 1982) y abarca la península Italiana e Ibérica, la costa mediterránea francesa y el norte del continente africano hasta la actual Túnez, así como las numerosas islas existentes entre el estrecho de Gibraltar y el canal de Sicilia. Debido a que el espacio es demasiado amplio y heterogéneo desde el punto de vista de las características geográficas resulta innecesario e inútil realizar una descripción geográfica y la consiguiente aproximación paleoambiental.

1.1 La expansión del Neolítico en Europa

La emergencia de la agricultura tuvo lugar al menos en once regiones independientes del mundo entre el 10.000 y el 4.000 BP (Price y Bar-Yosef 2011). Esta sin lugar a dudas debe ser considerada como uno de los cambios más importantes en la historia de la humanidad no solo por las implicaciones económicas y tecnológicas que conllevó, sino también por aquellas relacionadas con las nuevas formas de organización –sedentarismo– que fueron la base sobre las que han evolucionado las sociedades humanas modernas.

A partir de 1920 se propone la introducción de la agricultura en el continente Europeo mediante la migración de las sociedades agrícolas del Próximo Oriente debido a presiones demográficas (Childe 1925). La teoría del origen exógeno del Neolítico fue comprobada de manera empírica por Clark (1965) a partir de un análisis espacio-temporal de las dataciones radiocarbónicas disponibles hasta la fecha (1965) en Europa y el Próximo Oriente, estableciendo tres intervalos de fechas que con su representación cartográfica dibujaban, más o menos, una gradación sureste-noreste. Este aspecto sería comprobado mediante la simulación computacional por Ammerman y Cavalli-Sforza (1984). Finalmente, con los estudios de ADN realizados sobre especies domésticas (Beja-Pereira et al. 2006; Ottoni et al. 2012; Larson y Burger 2014; Bonfiglio et al. 2012) y la ausencia de ancestros silvestres de plantas y animales (Colledge y Conolly 2001; 2007) se ha confirmado el extremo más oriental del Mediterráneo –el llamado Creciente Fértil– como foco del Neolítico europeo.

El consenso en torno al origen del Neolítico está fuera de cualquier duda, si bien, sigue existiendo un debate sobre los mecanismos por los cuales la agricultura fue introducida en el Viejo continente a pesar de la larga historia de la investigación. Estos se pueden articular en dos grandes posturas: la primera de ellas, conocida como difusión démica, hace énfasis al movimiento de las sociedades neolíticas y, por extensión, de las prácticas agrícolas; la segunda, referida en la bibliografía como difusión cultural, se centra en la importancia de la transmisión del *paquete neolítico* –tecnología [por ejemplo: cerámica], plantas y animales domésticos– como detonante de la expansión del Neolítico.

1.1.1 La difusión démica

La mayoría de las aproximaciones se han realizado a escala continental a partir de modelos cuantitativos (Fort 2009; Vander Linden 2011), siendo el modelo matemático basado en la ola de avance la formulación emblemática de esta primera postura (Ammerman y Cavalli-Sforza 1971). Este se basa en la adaptación del modelo de Fisher aunque incorporan el movimiento de los grupos agrícolas mediante la implementación de una presión demográfica constante –crecimiento logístico–. Los autores comparan los resultados obtenidos con el registro arqueológico –dataciones radiocarbónicas provenientes de 53 yacimientos– estableciendo una correlación muy alta entre ambos resultados ($R \sim 0.8$), así como concluyen que el ratio de expansión se sitúa en torno al kilómetro/año ($c = 1.0 \pm 0.2$ km/año) con una gradación sureste-noroeste confirmando la teoría promulgada por Clark en 1965.

En los últimos cuarenta años¹ han surgido otras aproximaciones cuantitativas al problema de la expansión de la agricultura. En primer lugar destacamos el realizado por Gkiasta y colegas (2003) que siguiendo el trabajo de Ammerman y Cavalli-Sforza realiza una comparación de los resultados con la utilización de un total de 510 fechas radiocarbónicas estableciendo que la velocidad de expansión de los primeros agricultores se sitúa alrededor de 1.3 km/año. No obstante los autores puntualizan que debería realizarse una combinación entre aproximaciones a gran escala –continental– con otras más pequeñas –país– la cual cosa permitiría establecer una calidad y control de la información radiocarbónica. En la misma línea resulta interesante el trabajo de Pinhasi y colaboradores (2005) ya que utilizan un total de 735 dataciones radiocarbónicas y modelizan un total de 35 orígenes del Neolítico –10 reales y 25 hipotéticos– estableciendo una correlación muy alta entre los resultados ($R > 0.8$). De la misma manera, concluyen que la expansión del Neolítico a través de Europa se debe situar en el rango 0.6 a 1.3 km/año.

Los trabajos realizados por K. Davison y su equipo (2006; 2007; 2009a; 2009b) merecen nuestra atención puesto que investigan el rol de las vías marítimas en la expansión del Neolítico. Al igual que en los trabajos descritos en las líneas anteriores, estos investigadores comparan los resultados obtenidos de la modelización con 478 fechas radiocarbónicas llegando a establecer que la media de expansión del Neolítico a través de Europa debe situarse en torno al kilómetro/año. Sin embargo, estos autores señalan en que las vías marítimas tienen un rol importante en la expansión de los primeros grupos agrícolas, por lo que que la velocidad del frente de avance en el corredor del Danubio-Rin se sitúa en un rango de 4-6 km/año, mientras que en las regiones costeras del Mediterráneo se incrementa hasta 10-20 km/año (Davison et al. 2009b, 204). Estos resultados confirman la propuesta de la colonización

1 Un análisis más detallado de la utilización de la modelización en la Arqueología haciéndose hincapié en la expansión del Neolítico puede consultarse en el capítulo 4.

marítima del Mediterráneo occidental² (Zilhão 2001) así como la presencia de los yacimientos de los primeros agricultores a lo largo de los ríos más importantes de la Llanura Húngara (Whittle et al. 2002).

Bocquet-Appel y colaboradores (2009) establecen un tratamiento de las fechas radiocarbónicas utilizadas –3027 dataciones C14 provenientes de 940 yacimientos– a partir de una interpolación *Kriging* para la evaluación de la velocidad de expansión del Neolítico. De esta manera, dividen el continente europeo en cuadrículas de 75 kilómetros dotando cada una de ellas de cronología radiocarbónica. El principal resultado reside en que documentan al menos 10 momentos de expansión de la agricultura a lo largo de Europa (Bocquet-Appel et al. 2009, 812), es decir, constatan que la introducción del Neolítico se caracteriza por momentos rápidos y periodos estáticos, cuestión esbozada unos años antes por Bogucki (1996) o más reciente por Guilaine (2001) en la formulación del modelo arrítmico para el Neolítico mediterráneo.

El siguiente trabajo que merece ser destacado es el realizado recientemente por Ahmad (2013), focalizado en correlacionar la expansión de la población con el registro arqueobotánico mediante la simulación con un software estadístico de diferentes variaciones del modelo de Ammerman y Cavalli-Sforza. En esta línea también se enmarca el trabajo de Silva y Steele (2014) donde a partir de dataciones radiocarbónicas y la combinación de diferentes métodos como la estimación de la distancia en superficies heterogéneas y algoritmos genéticos, establecen diferentes velocidades de expansión del Neolítico en relación al modelo exploratorio utilizado (*ib* 2014, tabla 1).

El movimiento de expansión más modelizado como base de la difusión del Neolítico es la ola de avance (Vander Linden 2011, 40). No obstante existe otra clase de movimiento de los grupos agricultores que ha sido considerado recientemente, nos referimos al llamado *leapfrog*³. Este fue promulgado en la década de los noventa por Van Andel y Runnels (1995) para explicar la expansión neolítica en la península Balcánica a partir de la colonización pionera a pequeña escala con discontinuidad sin necesidad de un gran crecimiento demográfico (*ib* 1995, 498). La hipótesis de la expansión mediante este movimiento parece ser plausible a raíz del estudio filogenético del Haplogrupo E3b –E-M215– del cromosoma Y humano ya que los grupos genéticos establecidos en este trabajo sugieren que la expansión neolítica no sería un movimiento gradual sino que debería tenerse en cuenta la difusión mediante *leapfrog* (Cruciani et al. 2004, 1018).

En esta línea nosotros estamos trabajando en un Modelo Basado en Agentes donde se ha implementado el movimiento de ola de avance y el *leapfrog* para estudiar la expansión del Neolítico en la península Ibérica comparando los resultados de la simulación con diferentes

2 Un artículo sobre ADN publicado recientemente indica que la colonización de Europa a partir de Chipre y el mar Egeo debe considerarse la colonización marítima (Fernández et al. 2014).

3 Este movimiento es conocido en la historiografía española como *movimiento de píndora* o más popularmente como *salto de rana*. No obstante nosotros nos decantamos por la utilización del vocablo original descartando cualquier traducción del mismo.

subconjuntos de dataciones radiocarbónicas disponibles –en relación a la calidad de los datos– (Bernabeu et al. 2015; Pardo Gordó et al. en prensa). Las interpretaciones que podemos realizar hasta la fechas son provisionales ya que estamos incorporando nuevos datos arqueológicos, no obstante los resultados indican que la expansión del Neolítico en la Iberia debería vincularse al movimiento *leapfrog* asociado a grandes distancias *circa* 150 Kilómetros.

1.1.2 La difusión cultural

La transmisión de la información información puede ser estudiada siguiendo dos grandes líneas; por un lado, los estudios que se centran en la importancia de las poblaciones preexistentes en la adopción de la *cultura neolítica* y, por otro lado, aquellos centrados en la evaluación de la transmisión de la información sin tener en cuenta los grupos mesolíticos. No obstante, con independencia de la línea utilizada, ambas aceptan en mayor o menor grado la existencia de una difusión démica.

Los principales trabajos realizados acorde con la primera corriente dentro de la difusión cultural se corresponden a modelos narrativos formulados por arqueólogos. Entre ellos debemos destacar en primer lugar el *modelo de frontera agrícola* (Zvelebil 2000) caracterizado por mantener una visión integracionista, que focaliza la atención en los grupos cazadores-recolectores durante el proceso de neolitización. A partir de esta premisa, el modelo de frontera agrícola se caracteriza por la existencia de dos mecanismos de adopción del paquete neolítico a escala europea. El primer proceso de aceptación, según el autor, se localiza en áreas del mediterráneo, en el sureste y en el área central del continente europeo, donde la llegada de grupos pequeños de sociedades agricultoras marca el comienzo de transmisión de la información mediante el contacto con sociedades mesolíticas. El segundo proceso localizado en el resto del continente europeo consiste en la adopción de las prácticas agrícolas a través de la movilidad y contacto en las llamadas fronteras agrícolas.

Asimismo, el *modelo de difusión capilar o percolativo* (Vicent García 1997) centra su atención en la existencia de una “mutación” autóctona de los grupos mesolíticos. Es decir, debido a la existencia de un contacto inicial en el área oriental del continente europeo, el salto de sociedades cazadoras-recolectoras a productoras se produce mediante la incorporación de un avance tecnológico dentro de las redes mesolíticas, y la transmisión de este avance se expande entre los grupos mesolíticos sin necesidad de contacto con las sociedades neolíticas.

Otro modelo que hay que destacar es el llamado *modelo de mosaico* (Schuhmacher y Weniger 1995) basado en el carácter selectivo de las sociedades mesolíticas que irían introduciendo paulatinamente innovaciones en cada región geográfica. Es decir, los elementos culturales neolíticos no fueron introducidos por grupos de colonos agrícolas sino que más bien fueron incorporaciones graduales al modo de vida de las sociedades cazadoras-recolectoras. En la misma línea ecléctica se encuentra el modelo propuesto por Rojo y colaboradores (2008,

318–335), los cuales proponen una tríada de causas por las que se adopta el Neolítico en la península Ibérica: a) el movimiento de pequeños grupos neolíticos, b) la circulación de información neolítica por las redes mesolíticas y c) las interacciones directas entre los grupos de cazadores-agricultores y los grupos de agricultores.

Finalmente, la utilización de la modelización computacional se reduce a unos pocos ejemplos. En este sentido el principal trabajo que se debe destacar es el realizado por Ackland y otros (2007). En este hay una implementación de la ecuación de Fisher sobre geografía real así como la modelización de múltiples poblaciones –agricultores, conversos y cazadores-recolectores– caracterizadas por rasgos ventajosos o neutrales para investigar la incidencia del autoestop cultural. Por desgracia este trabajo carece de una cuestión fundamental, la comparación de los resultados obtenidos con la modelización con los datos reales. No obstante, resulta interesante debido a que abarca grandes áreas geográficas, entre ellas el continente europeo. A la principal conclusión que llegan los autores es que puede existir un autoestop cultural asociado a la propagación de avances tecnológicos, por ejemplo la agricultura, aunque también establecen que si el rasgo neutral –el que hace autoestop– no es adoptado por la población preexistente los resultados de la modelización dinámica indican que se crea una frontera cultural muy marcada.

Por lo que respecta a la transmisión de la información de los grupos neolíticos, desgraciadamente, no hay trabajos a escala continental, a excepción del citado con anterioridad (Ackland et al., 2007). En este sentido la mayoría de las investigaciones se han centrado en el área danubiana. El primer trabajo que merece nuestra atención es una aproximación a la variabilidad del patrón decorativo de las cerámicas del Neolítico LBK (Shennan y Wilkinson 2001). Este trabajo nace como *réplica* al elaborado unos años antes por F. Neiman (1995) donde se analizaba la influencia del modelo neutral en la decoración cerámica de la cultura Woodland en Illinois llegando a la conclusión que la formación de los patrones estilísticos pueden ser explicados a partir de la deriva cultural –modelo neutral–. Volviendo al trabajo que nos atañe, Shennan y Wilkinson (2001) llegan a conclusiones contrarias a las obtenidas por Neiman utilizando la misma asunción, el modelo neutral. A partir de la correlación entre los resultados de la simulación de la deriva y la frecuencia de cada variable en la muestra arqueológica utilizada establecen que el proceso de transmisión del estilo en el Neolítico LBK no se corresponde con el modelo neutral, es más, aunque la correlación entre estas dos variables indica que hubo incidencia de la deriva cultural no hay duda que otras fuerzas de transmisión también ocurrieron (*ibidem*, 586-587). En definitiva, los autores mantienen que en las fases finales del Neolítico LBK existió un sesgo en la selección del estilo cerámico hacia la adopción de nuevos tipos decorativos.

Otro estudio relevante es el trabajo realizado por Conolly y colegas (2008) centrado en la evaluación del llamado *efecto fundador*, la deriva y el cambio adaptativo de los cultígenos en el Neolítico LBK. Este trabajo resulta interesante ya que realizan una aproximación a la problemática mediante la implementación de un Modelo Basado en Agentes (*ibidem*, 2800-

2801). La elaboración de una simulación computacional de agentes permite a los autores obtener diferentes conjuntos de datos para la evaluación de diferentes cuestiones debido al carácter generativista de los Modelos Basados en Agentes. En dicho artículo se llega a la conclusión de que el modelo neutral debe ser rechazado puesto que de los resultados obtenidos se intuye que existe una diferencia entre estos y los esperados por la aplicación de la deriva, así que los autores establecen que existe una selección –no neutral– en la elección de los cultígenos que implicó la homogeneización de los cultivos del LBK. Esta reducción de la frecuencia de las especies domésticas se debe, según los autores, a tres cuestiones fundamentales: 1) diferencias climáticas entre el área de origen y la Europa Central; 2) eliminación de la presión de adaptación a la diversidad de cultivos y 3) una preferencia cultural por la utilización de trigos vestidos posiblemente debido sus a ventajas en el almacenamiento y el transporte.

Finalmente debe destacarse el trabajo de Pérez-Losada y Fort (2011) que sigue la línea del trabajo anterior, esto es, investiga la cuestión de la diversidad de las especies de cultígenos en el LBK, aunque se centra en la inferencia de la dimensión espacial en el efecto de la deriva cultural. Los autores establecen que la deriva espacial puede explicar la diversidad de la evolución cultural del LBK. En este sentido, desarrollan una modelización matemática basada en cuatro fases: a) Dispersión de los grupos agricultores, b) Reproducción, c) Transmisión vertical y d) mortalidad. A partir de los resultados obtenidos con el modelo dinámico los autores establecen que la deriva espacial puede afectar de forma drástica a la evolución de la diversidad cultural y por extensión esta puede explicar la reducción de la diversidad de los cultivos que se observa en el registro arqueológico (*ibídem* 2011, 1298).

1.1.3 Eventos climáticos y expansión de los primeros agricultores

Como hemos señalado al inicio del capítulo realizar una aproximación paleoambiental clásica resulta inútil debido a las características del presente trabajo. No obstante, consideramos oportuno mostrar la relación entre los eventos climáticos y la expansión del Neolítico, debido a que en los últimos años este vínculo empieza a tener un peso importante en la bibliografía asociada a la difusión de la Agricultura.

Los estudios climáticos del Holoceno en el continente europeo definían un estadio más cálido y húmedo con grandes tendencias suaves y continuas. A partir de los años 90 la realización de nuevos modelos paleoclimáticos ha modificado paulatinamente esta visión, indicando que con posterioridad al *Younger Dryas* existió un calentamiento global caracterizado por fluctuaciones climáticas de carácter frío (Gronenborn 2007a, 14), documentándose un total de nueve eventos fríos a lo largo del Holoceno (Wang et al. 2013).

En los últimos años, diferentes trabajos manifiestan la importancia de los eventos climáticos como detonante de la expansión del Neolítico (Weninger et al. 2006), mientras que otros asocian estas fluctuaciones climáticas al colapso del primer Neolítico en la Europa Central (Gronenborn

2007b). Finalmente, existen trabajos que observan una contemporaneidad entre las fases de los eventos climáticos y el movimiento de expansión de los grupos agrícolas, aunque con una resolución cronológica bajo nuestra perspectiva demasiado grosera (Gronenborn 2009, 100) (figura 1.1).

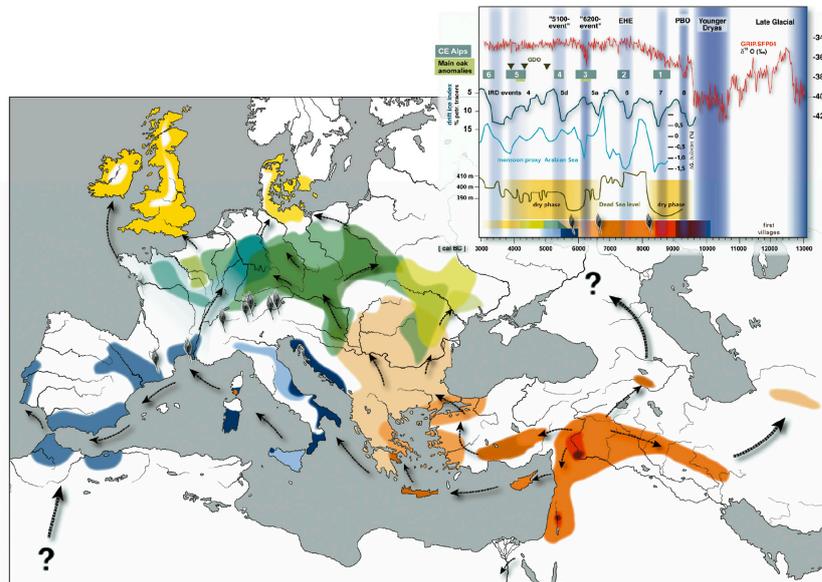


Figura 1.1 Eventos climáticos y expansión del Neolítico. Elaboración propia a partir de Gronenborn 2009.
Figure 1.1 Climatic events and the spread of the Neolithic. Compiled from Gronenborn 2009.

La identificación de estas fases áridas y frías se realiza mediante la utilización de indicadores⁴ terrestres y marinos. En el ámbito del Atlántico Norte estas fluctuaciones se explican principalmente a partir de los cambios en la salinidad causada por la disminución de las fases del escudo de hielo Laurentiano —evento 8.2— y el aporte de agua dulce asociada a los icebergs, los llamados eventos holocénicos IRD —*Ice rafted debris*— (Gronenborn 2009, 97).

1.1.3.1 Los eventos climáticos en el Mediterráneo occidental

En el Mediterráneo occidental los factores ambientales ya han sido utilizados para justificar la ausencia de población mesolítica en determinadas áreas (Zilhão 2000). No obstante en los últimos años se han realizado numerosos trabajos centrados en los eventos climáticos y su influencia en el proceso de neolitización (Berger y Guilaine 2009; Cortés Sánchez et al. 2012).

Entre los trabajos que deben ser remarcados, en primer lugar destacamos el elaborado por Berger y Guilaine (2009). Estos realizan una comparación entre el registro arqueológico y el climático a lo largo de la cuenca del Mediterráneo indicando que el evento climático 8.2 cal. ka BP pudo tener un impacto tafonómico en los asentamientos localizados en los valles

4 Existen numerosos trabajos donde se explica de manera detallada los diferentes indicadores que se utilizan en las reconstrucciones paleoclimáticas. A escala global (Alley y Agustsdottir 2005), a escala europea (Gronenborn 2009) y para la península Ibérica (Cortés Sánchez et al. 2012), entre otros.

y áreas kársticas. En el caso concreto del Mediterráneo occidental los autores identifican numerosos yacimientos mesolíticos con hiatos estratigráficos (2009, 34–35).

Por otro lado, también se han realizado trabajos centrados en una escala micro-regional donde correlacionan los efectos del evento 8.2 con el registro arqueológico, por ejemplo en el Bajo Aragón (González-Sampériz et al. 2009). Los estudios realizados en esta área indican que la aridez documentada a partir de indicadores climáticos locales se explica la ausencia de yacimientos arqueológicos habitados durante este momento, apoyándose en la presencia de niveles estériles entre la ocupación mesolítica y neolítica de los principales yacimientos del Bajo Aragón. Este vacío de yacimientos ocupados lo relacionan con el movimiento de las poblaciones mesolíticas del valle hacia las áreas montañosas del Maestrat y solo vuelve a ser ocupado el Bajo Aragón, con la llegada de los grupos neolíticos.

Otro trabajo de especial relevancia es el realizado por M. Cortés y colaboradores (2012) en el que realizan una minuciosa recopilación de diferentes indicadores paleoclimáticos y sugieren que las variables climáticas asociadas al incremento de la aridez y las fluctuaciones en la circulación termohalina en el Mediterráneo occidental se documentan durante el arco temporal 7.8 – 7.3 cal. ka BP. A partir de este dato los autores argumentan que el impacto el proceso de neolitización en el sur de Iberia no debe asociarse al evento 8.2 cal. ka BP sino al 7.8 – 7.3 cal. ka BP.

Junto a los trabajos descritos en las líneas anteriores debemos destacar las investigaciones realizadas en el Mar de Alborán donde se puede intuir un periodo seco entre el 7.1 – 6.9 cal. ka BP (Cacho, Valero, y González-Sampériz 2010, fig. 4). La documentación de este posible periodo seco podría estar relacionado con el evento IRD 5b, aunque hoy por hoy, parece aventurado afirmar que este sea la causa principal del colapso del Neolítico antiguo (Bernabeu et al. 2014).

En definitiva, los efectos de los eventos climáticos varían considerablemente en el continente europeo, y mientras unas regiones puede estar afectadas de forma notable otra pueden pasar totalmente desapercibidas (Gronenborn 2010) e incluso, un trabajo reciente adscrito a la península Ibérica sugiere que los efectos son diferentes a escala regional y micro-regional (Bernabeu et al. 2014). Con todo ello, estamos en disposición de afirmar que los eventos climáticos pudieron afectar al proceso de expansión del Neolítico pero no deberíamos considerarlos como la causa principal de dicho proceso.

1.2 El contexto cultural: Mediterráneo occidental y el Neolítico de las cerámicas impresas

Cualquier criterio que se elija para justificar el contexto cultural puede resultar insatisfactorio y ser discutido, pero también cualesquiera de los criterios elegidos pueden justificarse en razón de los objetivos que se persigan. En esta tesis hemos optamos por el criterio de mayor tradición, el que constituye hoy día una convención de uso y aceptación generalizada (Guilaine

1976a; 1994; Martí Oliver 1978; Zilhão 1993). Nos referimos al convencionalismo que considera el Mediterráneo occidental como una unidad cultural dentro del *grupo de la Cerámica impresa mediterránea*; conjunto arqueológico que puede ser rastreado desde el Adriático hasta Portugal, incluyendo el norte africano, y forma parte del nivel más profundo del primer Neolítico regional (Bernabó Brea 1950, 31). No obstante como muy bien subraya Martí (1978, 70) o más recientemente Guilaine y Manen (2007) entre otros, el hecho de que se compartan rasgos comunes no implica que el Mediterráneo occidental sea una cultura homogénea. Sin embargo en palabras de Martí el espacio geográfico comprendido en el Mediterráneo occidental se caracteriza porque en “*todos sus asentamientos, trátese de poblados o de cuevas, comprobamos la existencia de una economía productora y de una cultura material que hablan de esa red de relaciones que une los extremos del Mediterráneo, de la que forman parte numerosos yacimientos en las orillas del Adriático, Sicilia, costas tirrénicas de Italia, Córcega y Cerdeña, sur de Francia, península Ibérica y norte de África, y de la que tomamos como referencia el estilo particular de su decoración cerámica, realizada mediante la impresión de la concha de Cardium*” (2008, 24).

Este convencionalismo cultural ha sido objeto de numerosas discusiones así que la historia de la investigación en el Mediterráneo occidental permite observar los tiempos de la formación del grupo cultural de las cerámicas impresas.

1.2.1 De las primeras evidencias de las cerámicas impresas a los años 40.

La publicación de conjuntos cerámicos impresos italianos –Stentinello (Orsi 1890) –, ibéricos –Montserrat (Corominas 1925)–, franceses –Cavernes des Environs (Fournier 1897)– y norteafricanos –Grotte d’Achakar (Koehler 1931)– suponen el punto de partida en el estudio de las cerámicas impresas. Los trabajos realizados en los albores del siglo XX plasman la cuestión del particularismo de las producciones cerámicas y su contextualización se centra en las áreas colindantes donde raramente se realizan aproximaciones más regionales. Uno de los primeros en observar las similitudes entre la *cerámica montserratina* y las cerámicas del norte de África es Koehler (1931, 165). En este contexto se realizan los primeros trabajos de sistematización del Neolítico en el área más meridional del Mediterráneo occidental (Siret 1913; Bosch Gimpera 1932; Vaufrey 1939). En la obra de Bosch se acepta el origen africanista⁵ del Neolítico peninsular, tendencia con una amplia aceptación y que será materializada por Martínez Santa Olalla (1941) y San Valero (1948) en el llamado Neolítico Hispano-Mauritano.

1.2.2 La visión unificadora: el pan-mediterranismo.

Con la publicación del segundo volumen de la excavación de Arene Candide (Bernabó Brea 1956) se presenta la propuesta pan-mediterránea, donde Bernabó observa claramente la unidad cultu-

5 Véase Fernández Martínez (2001) para las cuestiones asociadas al origen africano de la prehistoria española y Hernando (1999, 93–103) para el caso concreto del Neolítico.

ral del Mediterráneo caracterizado por las cerámicas impresas. Por otro lado, define el mediterráneo centro-oriental como una entidad cultural formada por diferentes subculturas⁶. Esta idea la sugiere unos años antes con la publicación del primer volumen (1946) que fue la base para que algunos investigadores empezaran a establecer relaciones entre la Liguria y otras regiones (San Valero 1947, 185).

En la península Ibérica la llegada de las propuestas de Bernabó implica la reapertura del debate del papel de África en el proceso de neolitización. Los trabajos de Tarradell en el protectorado español le permiten postularse contra el “espejo africano” zanjando el debate del origen africano del Neolítico (1965). También realiza una síntesis del Neolítico norteafricano estableciendo que este es la expresión más sur-occidental del complejo de las cerámicas impresas (Tarradell 1966, 273).

Finalmente, con la aceptación de la visión pan-mediterránea aparecen las primeras voces centradas en comprender el rol de los grupos mesolíticos en la construcción de la(s) cultura(s) neolítica(s). En Francia el principal exponente de esta visión es Escalon de Fonton (1968) a partir de los trabajos sistemáticos en el yacimiento de *l’abri de Châteauneuf-lès-Martigues* donde observa que las diferencias entre los niveles mesolíticos recientes y los niveles cardiales solo se diferencian por la presencia de cerámica en este último, cuestión que le permite plantear la aculturación del sustrato. En Italia Puglisi (1955), con el estudio de la industria microlítica de *Coppa Nevigata* se postula en contra de las propuestas difusionistas⁷ mientras que Peroni llega a plantear la emergencia de un Neolítico primitivo (Guilaine 1976a, 24). En la península Ibérica algunos autores indican la importancia de analizar la asociación entre la industria lítica y la cerámica para comprender la variabilidad inicial del primer Neolítico (Fletcher 1953). Este autor unos años más tarde plantea para el área valenciana la existencia de tres facies asociadas a los primeros estadios del Neolítico (Fletcher 1956). Este planteamiento será desarrollado por Fortea (1973) para la región mediterránea peninsular puesto que el estudio de diferentes yacimientos le permiten establecer tres escenarios culturales diferentes en torno al proceso de expansión del Neolítico: el Neolítico puro, el Mesolítico en vía de neolitización –Epipaleolítico Geométrico– y el Mesolítico puro –Epipaleolítico Microlaminar–. Cabe señalar que las propuestas de Fletcher y sobre todo Fortea serán las bases sobre las que se formulará años más tarde el modelo dual (Bernabeu 1996).

1.2.3 Entre la especialización geográfica y el pan-mediterranismo: desde finales de los 70 a la actualidad.

A partir de los años 70-80, la aceptación del Mediterráneo occidental como una unidad

6 Grupo Molfeta; Stentinello; Cardial del sur de Francia; Área hispano-mauritania y Cataluña; Grupo del norte africano (Tanger-Túnez).

7 En la península Ibérica diferentes autores (Olaría Puyoles y Gusi Jener 1988; Pellicer y Acosta 1982) se postulan a favor de la emergencia de un Neolítico autóctono en base fechas radiocarbónicas elevadas que no se quedaban enmarcadas por el modelo de difusión progulmado por Ammerman y Cavalli-Sforza.

cultural dentro del grupo de las cerámicas impresas está fuera de cualquier duda. No obstante, Guilaine se postula en contra de la agrupación de conjuntos distintos dentro de la amalgama que forma el Mediterráneo occidental y reconoce, al menos, catorce grupos culturales dentro de este (Guilaine 1976a, 21–22) así como plantea la necesidad de rehuir de las “falsas síntesis” (1976b, 39). A partir de este momento, la tendencia en la investigación es la realización de síntesis regionales. Valga como ejemplo los trabajos de Tinè (1983) para la Italia meridional, Binder (1995) para el área de la Provenza francesa, Bernabeu (1989) para el mediterráneo peninsular y Gilman (1975) para el área marroquí. Con el cambio de siglo, aunque las propuestas síntesis regionales siguen estando presentes en la investigación arqueológica (El Idrissi 2000; Manen 2002; García Puchol 2005; Bernabeu, Rojo, y Molina 2011; García Borja et al. 2014), existe un viraje hacia visiones pan-mediterráneas. En este sentido junto algunas obras centradas en los aspectos radiométricos (Sabatier y Manen 2003; Pinhasi, Fort, y Ammerman 2005; Fort, Pujol, y Vander Linden 2012) se retoman los trabajos de síntesis centrados en los aspectos culturales (Fugazzola, Pessina, y Tiné 2002; Manen et al. 2010) y aquellos centrados en las cuestiones asociadas a la transición hacia los sistemas agrícolas (Manen, Perrin, y Guilaine 2014; García Puchol y Salazar García en prensa).

En el caso concreto de la península Ibérica el viejo debate del papel africano en el origen del Neolítico en estos momentos está siendo reconsiderado⁸ debido a la documentación de diferentes tradiciones culturales asociadas a la industria lítica y cerámica. Por lo que atañe a la lítica diferentes investigaciones han documentado en Iberia dos corrientes en la elaboración de las hoces que han sido relacionadas con las dos posibles vías de introducción del Neolítico (Gassin et al. 2010; Gibaja Bao, Ibáñez Estévez, y Juan Cabanilles 2010). Por otro lado, la misma situación ha sido documentada para los estilos cerámicos ya que esta expansión meridional podría explicar la coexistencia de diferentes tradiciones cerámicas en el área portuguesa (Manen, Marchand, y Carvalho 2007), así como la presencia de conjuntos cerámicos de características similares en la costa andaluza y la marroquí (García Borja et al. 2014). Finalmente desde otros planteamientos metodológicos, como son las modelizaciones, se argumenta la posibilidad de la existencia de un posible doble “origen” del Neolítico en la península Ibérica (Isern et al. 2014).

8 Para profundizar en el estado de la cuestión (García Borja et al. 2014).

EL REGISTRO EMPÍRICO

El registro arqueológico utilizado en este trabajo atañe a cuestiones de temporalidad y aspectos culturales, o lo que es lo mismo, dataciones radiocarbónicas y técnicas decorativas, respectivamente. Cabe decir que el registro empírico utilizado en el presente trabajo es selectivo debido a que como hemos planteado en los objetivos, nuestro interés reside en la evaluación de la hipótesis del autoestop, considerando el **sistema agrícola y ganadero** como el **gen selectivo** y **la cultura** como el **gen neutro o parasitario**. Así que el registro empírico utilizado tiene el objetivo de cómo caracterizar y evaluar correctamente la cultura neolítica.

En este capítulo haremos hincapié en dos aspectos fundamentales: la organización de los datos y la caracterización de la “cultura” neolítica.

a) La organización del registro arqueológico se ha basado en la recopilación de la información desde una perspectiva acumulativa y por regiones debido a que este, el registro, es acumulativo, fragmentado y sobre todo parcial. Las regiones que hemos definido se basan en la agrupación de varios niveles de yacimientos debido a las cuestiones planteadas y que desarrollaremos a continuación. Finalmente en torno al registro cabe decir que utilizaremos aquellas regiones que presentan una secuencia acumulada sin muchos problemas desde las primeras etapas de cerámicas.

b) La caracterización de la cultura es un aspecto muy complejo. No obstante en este trabajo se ha planteado utilizar las técnicas decorativas como veremos en el apartado 2.2.

Finalmente toda la información ha sido almacenada en una base de datos con diferentes archivos correlacionados, ya que nos permite sistematizar el registro arqueológico de forma sencilla, resumida y uniforme; siendo el software utilizado para la elaboración de las diferentes fichas el *Filemaker* en su versión doceava.

2.1 Los datos temporales

El primer grupo de datos presentados son las dataciones radiocarbónicas ya que estas tienen un peso fundamental en la investigación de la expansión del Neolítico.

Por desgracia, no existe ninguna base de datos de dataciones radiométricas que abarque la totalidad del área de estudio⁹, así que los datos compilados en nuestra base de datos son, por norma, bibliográficos. Entre las obras consultada son de obligada referencia: (Juan Cabanilles y Martí Oliver 2002; Sabatier y Manen 2003; Bernabeu 2006; Utrilla Miranda y Montes Ramírez 2009; Rojo Guerra, Garrido Pena, y García-Martínez de Lagrán 2012).

2.1.1 Descripción de la Base de datos radiocarbónica.

Todas las fechas han sido almacenadas en el archivo de la base de datos “*C14clon*” don-

9 Si existen algunas bases de datos a escala europea publicadas como material suplementario de trabajos que analizan el proceso de neolitización a gran escala, siendo el trabajo clásico el publicado por Pinhasi y otros (2005).

de se recoge de manera sistemática la información más relevante, haciéndose obligado realizar algunos comentarios sobre los diferentes apartados del archivo y de la información que nos proporciona.

La ficha se estructura en seis grandes bloques (figura 2.1), siendo el primero de ellos el que hace referencia a la localización. Se inicia con el topónimo del asentamiento, término municipal y provincia administrativa al que pertenece; luego se hace referencia a la región –península Ibérica, Francia, ...– y a la subregión. Por último, en el apartado específico SIG se compone de una referencia a la unidad geográfica –Norte, Este, Sureste...– así como las coordenadas en proyección UTM y con *datum* ED 50 y en geográficas. El segundo bloque hace referencia a la naturaleza de la datación. En éste se presentan los datos asociados a la fecha BP: la vida, el tipo de muestra y especie fechada. Por último, se registra la metodología utilizada en el tratamiento –convencional o AMS– y la cantidad –agregado o singular–.

Figura 2.1 Interfaz de la base de datos diseñada asociada a la información radiocarbónica.

Figure 2.1 Database interface associated with radiocarbon information.

El bloque tercero se centra en las cuestiones que atañen al contexto estratigráfico de procedencia de la muestra y cronología. En este apartado se indica básicamente si la muestra proviene de un contexto funerario o de un contexto doméstico, así como el nivel específico de su recogida. Finalmente tenemos los tres apartados asociados a la cronología relativa del nivel como son la adscripción general –Neolítico–, la fase concreta de periodo –p.e. Neolítico antiguo– y aquellas cuestiones asociadas a la Entidad Arqueológica.

El siguiente bloque, el cuarto, consiste de tres casillas de verificación para marcar la fiabilidad de la datación obtenida en el laboratorio.

El quinto bloque hace referencia al contexto arqueológico de la muestra, donde los apartados sirven para detallar el material existente en el nivel fechado –lítica, cerámica u otros–, así como la presencia de domésticos en el estrato.

Para concluir, el sexto bloque corresponde a dos apartados de texto que permiten la introducción de la bibliografía específica de cada datación radiocarbónica así como los comentarios que se consideran oportunos.

2.1.2 El marco radiométrico

Por lo que respecta a las cuestiones cronológicas, las dos etapas culturales consideradas en esta tesis doctoral corresponden *grosso modo* 400 años, o lo que es lo mismo, el primer Neolítico: el horizonte impreso y el cardial. No obstante, nuestra área geográfica no puede ser analizada en su conjunto debido a diferentes aspectos como:

a) La inexistencia de las fases culturales consideradas en determinadas regiones. Dentro de estas debemos destacar dos subclases. En primer lugar, aquellas donde no hay ninguna duda en torno a la inexistencia de material arqueológico asociado a nuestra cronología siendo el ejemplo más claro las Islas Baleares. Y en segundo lugar las regiones que culturalmente no se asocian al contexto del presente trabajo – el *área cardial franco-ibérica* (Manen 2002)–, siendo el ejemplo más claro la costa italiana del mar Adriático, desde el Golfo de Manfredonia hasta el Golfo de Venecia aproximadamente. Esta área ha sido definida por dos facies culturales, una primera caracterizada por su afinidad cultural con los asentamientos meridionales y la otra se caracteriza por no presentarla (Radi 2010, 134). La totalidad de la región esta relacionada con el Mediterráneo central (Spartaro 2001), o lo que es lo mismo la unidad cultural de la cerámica impresa adriática (Pessina y Tiné 2008, fig. 2b).

b) Regiones donde la información arqueológica no presenta una estratigrafía clara que permita asociar la cultura material a un rango cronológico fiable. Un buen ejemplo lo ilustra la zona de Tánger-Tetuán, donde se ha documentado numerosos asentamientos con cerámica impresa, pero por desgracia la información arqueológica proviene de excavaciones antiguas haciendo realmente complicado su lectura estratigráfica si bien, se han realizado diferentes aproximaciones (Gilman 1975; El Idrissi 2000). Esta problemática puede ampliarse al resto del continente africano considerado en el presente trabajo aunque, en los últimos años se están llevando a cabo nuevas investigaciones en el norte de África, que consisten en la revisión *in situ* de yacimientos clásicos (Peña-Chocarro et al. 2011) y la excavación de nuevos asentamientos (Linstädter y Wagner 2013; Mulazzani 2013).

c) Finalmente, aquellas regiones que presentan información insuficiente –material o radiocarbónica– y que con su utilización incurriríamos en problemas de sesgo de diferente índole que serán tratados cuando se expongan las construcciones de las regiones virtuales/reales –capítulo 5–. En definitiva, en nuestro trabajo disponemos de diferentes regiones que presentan un ruido de fondo, pero debido a la cuestión de la calidad de la muestra arqueológica

ca no se han considerado. La cuenca alta del río Xúquer es un ejemplo obvio de esta problemática, ya que hasta la fecha solo disponemos de la información arrojada por el yacimiento de Verdelpino –nivel III¹⁰– (Fernández-Miranda y Moure 1975) para poder definir culturalmente esta región.

Para terminar debemos remarcar que nuestro trabajo solo se basa en los asentamientos que presenten información radiocarbónica, aunque en determinadas ocasiones se podrá utilizar información proveniente de yacimientos sin fechas absolutas cuando se tenga la certeza que éste puede incorporarse a la fase cultural correspondiente.

A continuación describiremos los problemas en torno a la selección de las dataciones radiocarbónicas correctas y cómo deben ser tratadas para definir cronológicamente las ventanas temporales consideradas.

2.1.2.1 Problemática en la selección de la muestra.

En numerosas ocasiones la utilización de las dataciones arqueológicas no han sido sujetas a una revisión crítica de la muestra fechada así como su contexto arqueológico, sin embargo este proceso previo resulta primordial ya que de él dependen los resultados. En varios trabajos (Zilhão 2001; 2011; Bernabeu 2006) se ha puesto de manifiesto diferentes problemas asociados a las dataciones radiocarbónicas que afectan a la lectura del registro arqueológico. Nos referimos en primer lugar a la cuestión de los Contextos Arqueológicos Aparentes –CAA–. Brevemente, éste hace referencia a la existencia de problemas postdeposicionales en la formación del registro arqueológico. Zilhão (1993, 37 y ss.) argumenta que la relación de fechas radiocarbónicas extremadamente elevadas y artefactos asociados a la economía de producción –por norma cerámica o huesos domésticos– se debe asociar a los problemas postdeposicionales. Esta hipótesis fue testada en el yacimiento de Cova de les Cendres (Bernabeu, Martínez Valle, y Pérez Ripoll 1999; Bernabeu, Barton, y Perez Ripoll 2001) corroborando la argumentación inicial de Zilhão. No obstante los CAA han sido objeto de numerosas críticas indicando que solo puede ser aplicado al yacimiento de Cendres (Utrilla Miranda 2002, 203–204), así que Bernabeu (2006) realiza un ensayo metodológico donde establece que “*la situación pronosticada por el modelo de los CAA ha seguido reproduciéndose en otros yacimientos*” (2006, 194).

En segundo lugar debemos destacar el llamado efecto de la madera vieja (Zilhão 2001). Este hace referencia al hecho que si comparamos una datación sobre vida corta y otra sobre carbón de un mismo contexto arqueológico, la datación realizada sobre vida larga –carbón– tiende a envejecer unos siglos el contexto fechado. No obstante algunas fechas de carbón realizadas

10 El nivel IV presenta una fecha radiocarbónica sobre fauna 7950±150 BP asociada a restos de cerámica lisa. Hoy por hoy, se ha aceptado en los foros académicos la existencia de alteraciones tafonómicas en dicho nivel. Por lo contrario, el nivel III corresponde a un horizonte impreso-inciso con dataciones de diferente índole.

sobre plantas de vida corta, por ejemplo el romero, quedan exentas de este problema. Como se muestra en la Figura 2.2, la diferenciación entre dataciones realizadas sobre vida corta y aquellas realizadas sobre vida larga permite no solo observar el problema del efecto de la madera vieja, sino también que las diferencias entre la utilización de dataciones sobre vida corta y las realizadas sobre directas –animales domésticos o semillas– son mínimas.

Algunos autores (Bernabeu 2006, 195) remarcan la necesidad de separar las dataciones realizadas sobre vida larga de aquellas realizadas sobre vida corta ya que los calendarios radio-carbónicos son distintos.

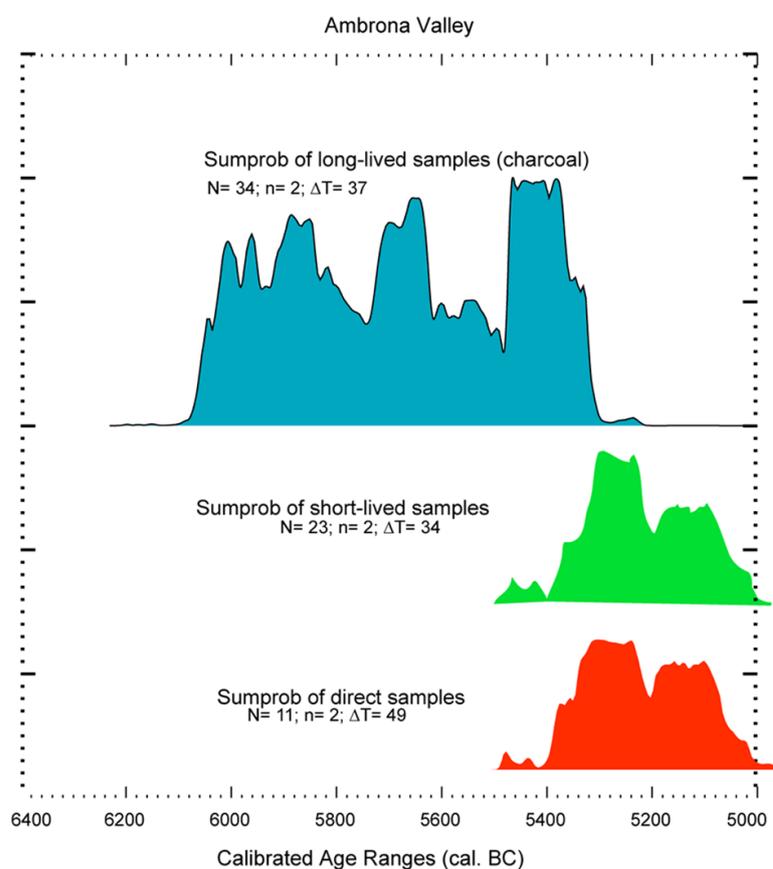


Figura 2.2 Efecto de la madera vieja (Bernabeu et al. 2014, figura 1).

Figure 2.2 Effect of old wood (Bernabeu et al. 2014, figure 1).

Por otra parte la selección del techo de la desviación típica resulta primordial. En primer lugar si utilizamos todas las dataciones con independencia de su desviación estándar $-\Delta T-$, el margen de calibración se eleva considerablemente generando un ruido de fondo permanente que no permite observar el comportamiento de fenómenos concretos, aspecto que ha sido comprobado en un ensayo metodológico (Rojo et al. 2006, 81). En segundo lugar por cuestiones asociadas a la representatividad de la muestra, ya que, si utilizamos como se ha planteado en otros trabajos dataciones con una $\Delta T < 50$ (Lull et al. 2011) la muestra utilizada disminuye notablemente.

Otro problema presente en el momento de seleccionar la muestra es la cuestión de los huesos con señales de fuego. Olsen y colegas (2008, 798) indican que estos pueden producir diferencias significativas en los resultados según el grado de afectación por el fuego, es decir, si el hueso está quemado o calcinado. El caso del yacimiento de la Lámpara ilustra perfectamente esta situación (figura 2.3) ya que la datación hecha sobre hueso termoalterado –KIA21350¹¹– es unos 250 años más antigua que el resto de dataciones realizadas sobre elementos de vida corta.

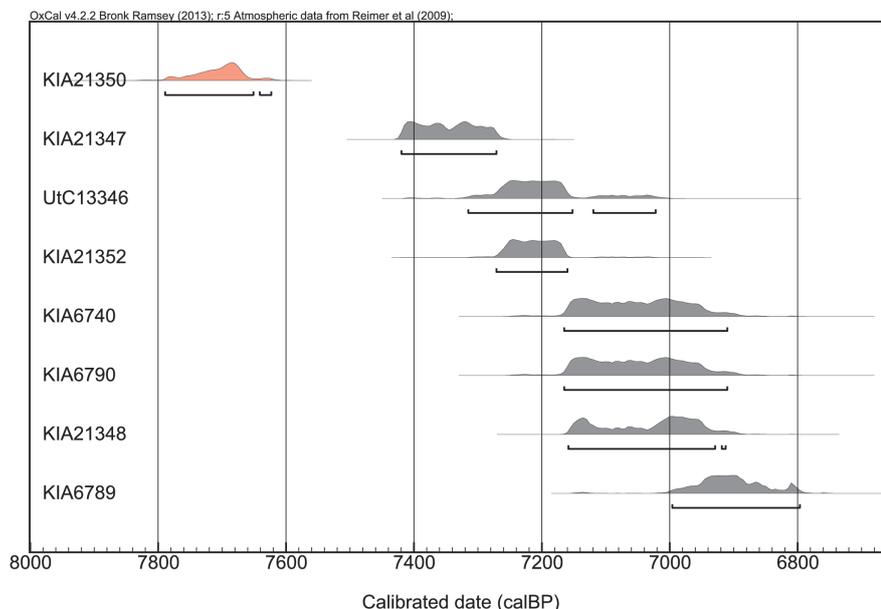


Figura 2.3 Efecto de los huesos quemados.

Figure 2.3 Effect of burnt bones.

También la aplicación del efecto reserva en las muestras de origen marino presentan problemas. El trabajo realizado en el norte de la península Ibérica centrado en evaluar de forma crítica las dataciones realizadas sobre malacofauna resulta relevante, ya que establece la necesidad de calcular previamente el valor del efecto reserva del área (Rubinos Pérez et al. 1999, 154). Esta cuestión ha sido corroborada en un trabajo metodológico posterior donde se hace hincapié en que el efecto reserva fluctúa en el espacio y tiempo (Ascough, Cook, y Dugmore 2005) y aunque la corrección puede ser determinada sigue existiendo una considerable variación (Soares y Dias 2006).

Asimismo algunas muestras sobre domésticos presentan problemas de ambigüedad taxonómica, es decir, existen dificultades en la identificación del taxón doméstico frente al salvaje. Chernoff y otros (1992) indican que la identificación de las semillas se realiza a partir de la forma y el tamaño. No hay duda que estas variables pueden estar afectadas por cuestiones ambientales, existiendo la posibilidad de confundir a los arqueobotánicos en el momento de su identificación. Un ejemplo reciente de esta problemática lo encontramos en el yacimiento de

¹¹ Datación que ha sido tratada por los excavadores de forma detallada en un trabajo previo estableciendo diferentes explicaciones (Rojo et al. 2008, 230–234)

Ifri Oudadane (figura 2.4). La datación que nos interesa es Beta-295779: *Lens culinaris* –lenteja– 6740±50 que fecha la ocupación neolítica más antigua. La problemática de esta datación reside en que es estadísticamente igual a la fecha más reciente de la ocupación epipaleolítica Beta-316137: *Chamaerops humilis* –palmito– 6780±40 y seiscientos años más antigua que la otra fecha proveniente de la primera ocupación neolítica del asentamiento Beta-318608: *Triticum* sp. –trigo– 6140±30. Los mismos autores coinciden en la dificultad de la identificación ya que en África existen tres clases de *Lens* silvestres (Morales et al. 2013, 2664) aunque se decantan por la aceptación de la fecha puesto que no documentan *Lens* silvestres en el nivel Epipaleolítico. Sin embargo debemos ser cautelosos en la utilización de la datación Beta-295779 debido a los problemas que plantea.

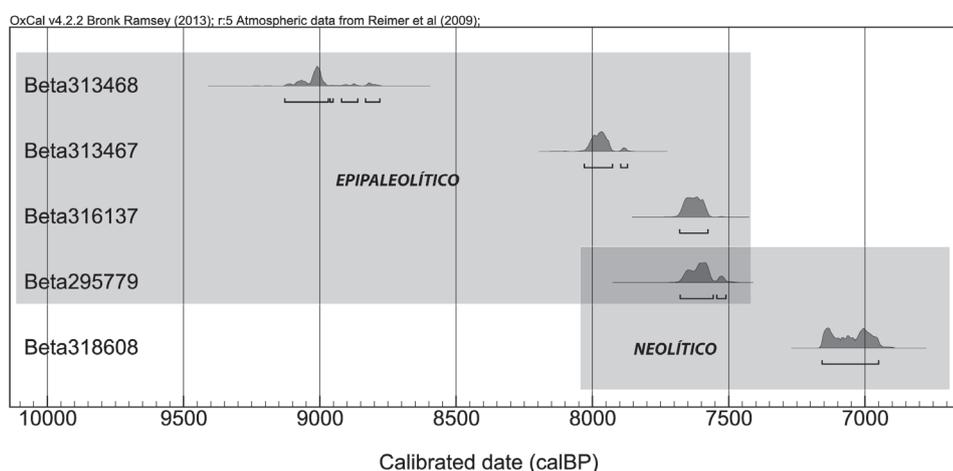


Figura 2.4 Dataciones radiocarbónicas del yacimiento de Ifri Oudadane (Marruecos).

Figure 2.4. Radiocarbon dates from the site of Ifri Oudadane (Morocco).

En las mismas circunstancias se encuentran algunos especies de animales. Zilhão (2011) argumenta que en los ambientes de montaña interior existe la posibilidad de no diferenciar las especies silvestres –*ibex* y *chamois*– de las ovejas, cuestión que se agudiza si son especímenes jóvenes (Uerpmann 1987). Esta argumentación le sirve, a Zilhão, para desechar todas aquellas fechas realizadas sobre oveja que contradicen la norma general (2011, 49). Esta cuestión ha sido confirmada mediante la aplicación de métodos biomoleculares y más en concreto el análisis de proteínas que permite diferenciar entre las especie *ovis* e *ibex* (Martins et al. en prensa).

En último lugar el incremento del número de dataciones realizadas sobre elementos de vida corta –hueso– conlleva la aparición de viejos problemas (Waterbolk 1971, 19–20; Clist 1987, 41). Brevemente, estos residen en el tratamiento previo de la muestra –ultrafiltración, calidad nitrógeno-carbono, etc...– antes de ser fechada y que afectan al posterior resultado de la datación radiocarbónica. Sjögren (2011, 115) ha observado que las muestras realizadas sobre hueso humano, fechadas en el laboratorio de Uppsala –Ua– tienden a ser más antiguas respecto a otros laboratorios donde se realizan tratamientos previos más sofisticados.

Con todo lo visto y para mitigar en mayor medida los problemas planteados asociados a las muestras, las fechas con alguna de las siguientes características serán descartadas:

a) Las dataciones con una $\Delta T > 100$ siempre y cuando esta no pueda ser reducida.

b) Las fechas realizadas sobre hueso termoalterado.

c) Las dataciones realizadas sobre malacofauna, se obviarán, siempre que exista otro tipo de fecha radiocarbónica. En el caso que el yacimiento solo disponga de fechas de esta naturaleza estas se tendrán en consideración.

d) Las dataciones realizadas sobre hueso que provengan del laboratorio de Uppsala y que sean contradictorias –excesivamente antiguas– con otras fechas realizadas sobre hueso fechadas en otros laboratorios.

En definitiva, desde el trabajo pionero de Waterbolk a principios de los años 70 del siglo XX han sido varios los investigadores que han aunado sus esfuerzos en establecer un sistema de rangos para determinar la jerarquía en la utilización de las fechas radiocarbónicas (Zilhão 2000; 2011; Bernabeu 2006; Rojo et al. 2008; Bernabeu y Martí 2014). Estos se contextualizan en la aparición de la agricultura en la península Ibérica y establecen la supremacía de las dataciones de vida corta frente a las realizadas sobre vida larga; criterio al que nos unimos, aunque somos conscientes que esta situación no es factible en nuestra área de estudio debido a que algunos asentamientos que presentan información cultural óptima presentan una deficiencia desde la perspectiva del radiocarbono.

2.1.2.2 El manejo de las fechas radiocarbónicas.

Presentados los problemas de las muestras radiométricas y los criterios de selección que utilizaremos, siempre que sea posible, a continuación pasamos a exponer el protocolo utilizado para el manejo de las dataciones radiocarbónicas.

El protocolo utilizado para la selección del rango cronológico para cada una de las áreas geográficas que hemos diseñado ha sido el siguiente:

a) En primer lugar se selecciona la fecha más elevada –media radiocarbónica– realizada sobre vida corta y que provenga de un contexto con presencia de cerámica. Cabe decir que en aquellas regiones donde no dispongamos de dataciones sobre vida corta, se utilizarán las realizadas sobre vida larga. El hecho de utilizar fechas asociadas a contextos cerámicos implica que en algunos casos se utilizarán niveles arqueológicos donde no se han documentado elementos domésticos, por ejemplo Forcas II (Utrilla y Mazo 2014). La razón reside en que nuestra investigación no se centra en el proceso de adopción de la agricultura en el Mediterráneo occidental, sino en observar la variabilidad cultural de las primeras producciones cerámicas. Así que hemos considerado que debemos utilizar aquellos asentamientos de los que dispongamos material cerámico y dataciones radiocarbónicas coherentes a escala mediterránea.

b) Una vez seleccionado el inicio cronológico de la región se seleccionarán todas las

fechas con un límite de 500 años a la aparición de las primeras cerámicas. Este paso nos permitirá obtener un *corpus radiocarbónico* de cada región. En esta primera selección, la desviación estándar y el tipo de muestra fechada se obvian. Solo debemos remarcar que todas las fechas realizadas sobre muestras de vida larga más antigua a la datación considerada quedan excluidas.

c) Si en la selección realizada en el paso anterior disponemos de fechas que provienen del mismo nivel o estructura, presentan una desviación estándar superior a 100 y son estadísticamente iguales se combinarán; y la datación resultante se utilizará siempre y cuando la ΔT sean inferior a 100. En el caso que dispongamos de fechas con una desviación superior a 100, estas serán descartadas siguiendo el protocolo establecido en el apartado anterior. En el anexo A pueden consultarse las dataciones radiocarbónicas utilizadas en la presente tesis doctoral. Salvo error u omisión involuntaria disponemos de un total de 273 fechas¹² de las que un 70.32% corresponden a dataciones de vida corta, 26.37% se asocian a fechas realizadas sobre vida larga y el 1.46% restante no se conoce la naturaleza de la muestra.

d) Finalmente, las fechas se representarán mediante una distribución de la suma de probabilidades de las dataciones calibradas –SCDPD–. Estos serán utilizados para situar cronológicamente los niveles arqueológicos que serán comparados con los resultados obtenidos con la simulación computacional¹³.

En el mapa conceptual se representa de forma esquemática el protocolo que hemos diseñado para el manejo de la información radiocarbónica (figura 2.5).

2.1.2.3 *Las distribuciones de la suma de probabilidades de las dataciones calibradas [SCDPD].*

La aplicación de los SCDPD en el ámbito arqueológico se ha incrementado de forma notable (Williams 2012, 578) en las últimas décadas. La principal razón de su uso reside en que es un método eficiente para observar los procesos a gran escala (Rick 1987, 72). El SCDPD consiste en un método de representar en una sola curva de calibración todas las fechas radiocarbónicas que se deseen permitiendo minimizar el efecto de los intervalos con poco peso desde una perspectiva estadística (Valdés 2009, 216).

La principal aplicación de los SCDPD se centra en investigar cuestiones asociadas al poblamiento, ya que en numerosos trabajos estos se han utilizado como *proxies* demográficos (Gamble et al. 2005; Shennan y Edinborough 2007; Bamforth y Grund 2012; Fiorentino et al. 2013; Shennan et al. 2013; Timpson et al. 2014), aunque recientemente estos se han utilizado para establecer la existencia de palimpsestos (Crombé, Sergeant, y De Reu 2013).

Si bien la utilidad de los SCDPD queda fuera de toda duda estos también presentan algunos problemas metodológicos que han sido compilados por Williams (2012):

12 Última revisión realizada el 14 de enero de 2015.

13 Esta cuestión será desarrollada en el capítulo 7

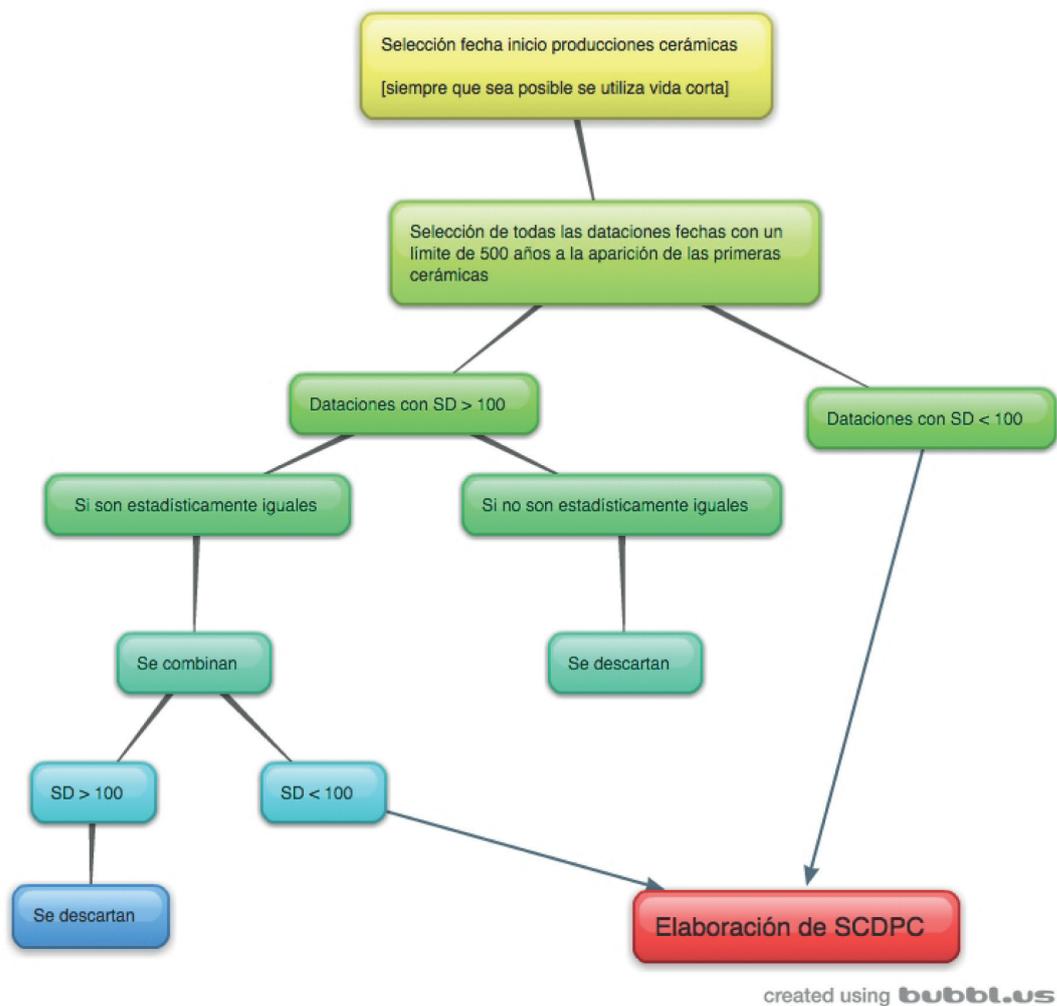


Figura 2.5 Mapa conceptual sobre el protocolo radiocarbónico.
 Figure 2.5 Concept map of radiocarbon protocol.

a) La sobrerrepresentación de determinados yacimientos, o sea, la inferencia de dataciones del mismo asentamiento en el resultado final del SCDPD. Sin lugar a duda, como se remarca en el trabajo de Williams (2012, 579) se debe examinar las fechas del yacimiento para establecer qué conjunto de ellas representan las ocupaciones del asentamiento. Es decir, la importancia de utilizar las fechas asociadas a los contextos que representan el nivel de ocupación.

b) El tamaño de la muestra utilizada en la confección del sumatorio. Diferentes trabajos sugieren que la variabilidad de los SCDPD está relacionada con el tamaño de la muestra utilizada y esta con la ΔT y el rango temporal analizado. Williams realiza un trabajo exploratorio par determinar el número mínimo de dataciones radiocarbónicas necesarias para obtener un SCDPD fiable, desde el punto de vista de su robustez, estableciendo un conjunto de fechas situado en torno a 500 (*ibid.*, 581).

c) Los efectos de la calibración han sido remarcados en numerosos trabajos centrados en el uso de los SCDPD (*cf.* Williams 2012, 581) y estos atañen a dos cuestiones principales.

En primer lugar la existencia del efecto “*plateau*” que en esencia consiste en la suavización de la curva de calibración de una fecha que abarca varios siglos infiriendo en la reducción de los picos. El segundo problema atañe a la cuestión del “*calendar-age step*” que consiste en la existencia de pendientes pronunciadas en los SCDPD que deben asociarse a la atribución de una sola edad cronológica en un rango temporal radiocarbónico.

d) El sesgo tafonómico ha sido tratado en numerosos trabajos (Surovell y Brantingham 2007; Surovell et al. 2009). Brevemente, se consiste en la influencia del “*time-decay*” en la elaboración de los SCDPD, o sea, el grado de conservación de la información arqueológica con el paso de tiempo. Surovell y Brantingham (2007, 1869) establecen que los depósitos arqueológicos más recientes están sobrerrepresentados en los SCDPD influyendo directamente en su elaboración, indicando que debemos de ser cautos en el momento de interpretar los SCDPD debido al sesgo tafonómico (*ibid.*, 1869). Algunos trabajos subrayan que solo si se aplica la corrección de la pérdida tafonómica los SCDPD pueden ser considerados como indicador demográfico (Surovell et al. 2009, 1722), e incluso otros indican que los SCDPD siempre deberían ser comparados con los SCDPD corregidos para observar las diferencias (Williams 2012, 586).

e) La necesidad de comparar los sumatorios con otros indicadores para comprobar la certeza de los picos y *plateau* de los SCDPD. Cuestión que ha sido demostrada en un trabajo reciente aplicado a la transición al Neolítico en el norte de Francia llegando a la conclusión que los SCDPD no pueden ser considerados como indicador demográfico si no se compara con otros indicadores arqueológicos (Crombé y Robinson 2014), visión totalmente opuesta a la mantenida por Shennan y colegas (2013) que concluyen que los SCDPD junto a la simulación computacional pueden convertirse en una dupla importante para testar las fluctuaciones demográficas.

Con independencia de las problemáticas expuestas en las líneas anteriores, nosotros no utilizaremos los SCDPD como indicadores demográfico sino como un mecanismo de control cronológico. Es decir, el hecho de disponer de una sola curva de calibración nos permite establecer qué niveles arqueológicos corresponden a los diferentes segmentos temporales que deseamos comparar. También debemos remarcar que la reducción del número de dataciones radiocarbónicas para la construcción de los SCDPD puede afectar a la robustez (Williams 2012), no obstante en un trabajo previo hemos observado que la reducción del número de fechas afecta de manera positiva en la suma de probabilidades ya que implica la reducción de la ΔT (Bernabeu et al. 2014, 216). Todos los SCDPD se han realizado con el software OxCal (Bronk Ramsey 2009) y la curva de calibración IntCal13 (Reimer et al. 2013).

En definitiva, nuestra intención al utilizar los SCDPD reside en que es una muy buena herramienta para la ubicación probable de los inicios de las secuencias cerámicas de modo similar en todas las regiones utilizadas. Los SCDPD también nos permitirán organizar las colecciones cerámicas disponibles, cuestión que será desarrollada en el capítulo 7.

2.2 Los datos culturales

El segundo grupo de datos presentados son las variables culturales compiladas, información necesaria para poder disponer del indicador arqueológico que será comparado con los resultados obtenidos en la modelización computacional.

Estos se han obtenido a partir del vaciado bibliográfico de trabajos monográficos u obras de síntesis. Por otro lado, una parte de la información cerámica recopilada proviene de la revisión *in situ* de colecciones cerámicas. En otros casos los resultados han sido obtenidos en el contexto del proyecto de investigación *cerámica y estilo 2: el Neolítico antiguo en el Mediterráneo español*. Finalmente el análisis de la documentación, inédita o publicada parcialmente, facilitada por diferentes investigadores ha permitido el acceso a un mayor volumen de información. En la figura 2.6 se presentan los principales yacimientos utilizados en el presente trabajo, un listado exhaustivo puede consultarse en el apéndice B.1, el *corpus* cerámico.

La elaboración de una investigación basada en la teoría evolutiva en nuestra disciplina presentar numerosos indicadores que pueden ser utilizados. Por ejemplo, en el caso concreto del Neolítico, remarcamos una investigación donde se presenta un estudio filogenético utilizando como variable principal los ídolos de placa neolíticos del suroeste de la península Ibérica (García Rivero y O'Brien 2014). No obstante debe remarcarse que las variables utilizadas no pueden estar afectada por variaciones de subsistencia o factores ecológicos, es decir, no podemos seleccionar rasgos culturales que estén influenciados por el llamado determinismo ambiental (Jordan y Shennan 2009, 346).

En el contexto que nos atañe, la arqueología del Neolítico, el sílex y la cerámica pueden ser muy buenos candidatos para realizar nuestra investigación, e incluso en la segunda categoría existen diferentes planteamientos: análisis de los restos cerámicos desde una perspectiva tecnológica o bien realizar un enfoque centrado en los aspectos decorativos. A tenor del trabajo de Shennan y Wilkinson (2001) en torno al estilo cerámico del Neolítico LBK no hay duda que una aproximación centrada en las cuestiones decorativas parece ser lo más indicado. Sin embargo cabe decir que un enfoque decorativo presenta diferentes niveles de análisis (Bernabeu et al. 2011): estudio de los elementos, motivos, diseños o técnicas decorativas, pero con independencia del nivel del que forman parte en de la cadena operativa y por extensión del llamado estilo cerámico (*ibidem* 2011, 17).

Así que nos hemos decantado por la utilización de las técnicas decorativas por dos razones principalmente: a) la existencia de una dificultad intrínseca en trabajar sobre los motivos o diseños, ya que este enfoque nos obliga en cierto sentido a decidir previamente qué se entiende por motivo; b) la presencia de trabajos previos de sistematización de las técnicas decorativas a lo largo del Mediterráneo occidental (Manen 2002; Fugazzola, Pessina, y Tiné 2002; Natali 2010; Bernabeu, Rojo, y Molina 2011).

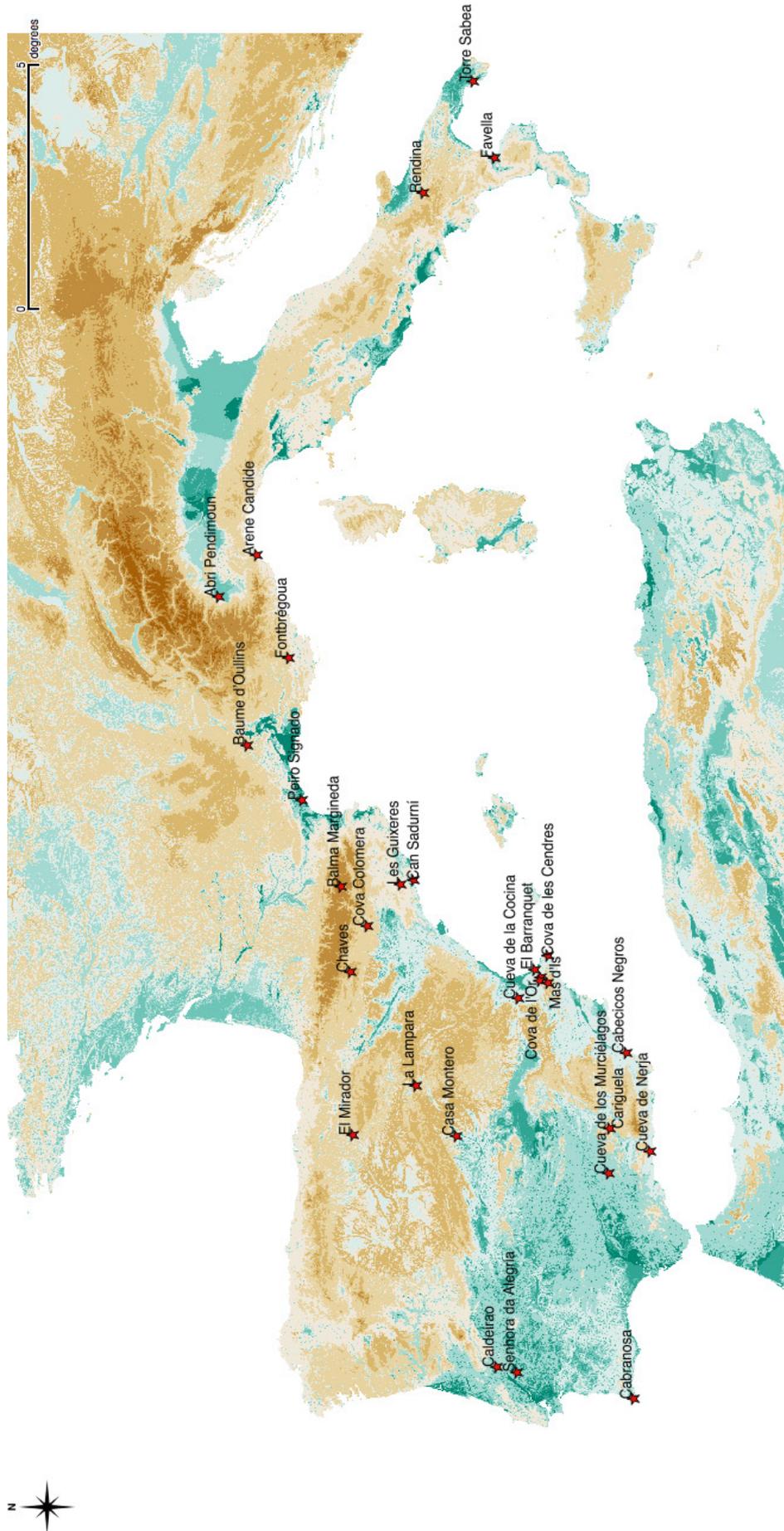


Figura 2.6 Principales yacimientos revisados
Figure 2.6 Principal sites examined

2.2.1 Descripción de la base de datos cerámica

Con independencia de la calidad de la información de las regiones que abarcan nuestra área de estudio, todos los yacimientos han sido almacenados en el archivo de la base de datos “*técnicas_cerámica*” donde se recoge de manera sistemática toda la información más relevante. Debido al gran número de datos que manejamos debemos realizar algunos comentarios sobre los diferentes apartados del archivo y de la información que nos proporciona (figura 2.7).

Figura 2.7 Interfaz de la base de datos diseñada asociada a la información cultural.

Figure 2.7 Database interface.

La ficha se estructura en cinco grandes bloques, siendo el primero de ellos el que atañe a la información del yacimiento. Se inicia con el topónimo del asentamiento y la referencia del nivel así como un campo contenedor donde podemos incorporar aquella información relevante asociada al nivel que consideremos. Esta primera parte de la ficha también presenta una casilla de verificación para documentar si la fase/nivel del yacimiento ha sido fechada por radiocarbono. Así como las coordenadas –longitud y latitud– y las referencias bibliográficas.

En relación con esta casilla está el segundo bloque. Este hace referencia a las cuestiones asociadas a la cronología absoluta del nivel. Los apartados que se observan están en relación a la existencia de dataciones radiocarbónicas y mediante un hipervínculo se puede acceder a los detalles de cada fecha.

El tercer bloque se centra en las cuestiones de documentación. Este se inicia con un apartado donde se especifica el número de vaso registrado y un apartado contenedor donde se puede anotar aquellas cuestiones y/o comentarios oportunos en torno al vaso cerámico. También aquello relacionado con las series compositivas¹⁴ descritas, que se almacenan a partir de una serie de códigos preestablecidos en la base de datos. En torno a la codificación de las composiciones se ha

utilizado el trabajo realizado desde la Universitat de València (Bernabeu et al. 2011).

El siguiente bloque corresponde a las técnicas decorativas y está subdividido en ocho apartados. La información se introduce mediante valores lógicos/booleanos que consiste en un código binario de 0 o 1, donde el segundo indica la presencia de la técnica decorativa. Dentro de éste bloque también se ha establecido un campo centrado en torno a la ubicación de la técnica o técnicas, así como un campo donde se introduce el estilo técnico.

El último bloque corresponde a un campo contenedor donde se guarda la imagen del vaso descrito en cada registro, al mismo tiempo que se han diseñado una serie de campos en la parte inferior centrados en las cuestiones de la autoría de la imagen. En esta sección se ha decidido introducir un campo de selección del registro así como otro que hace referencia a la región geográfica del yacimiento en nuestro mundo virtual (*cf* apartado 5.1).

2.2.2 La codificación de la información cerámica

La codificación de la información es un método recurrente debido a su utilidad para la sistematización de las variables elegidas. Los diferentes trabajos realizados a escala regional citados en la introducción han servido de base para la elaboración de nuestra propuesta de codificación. Siguiendo las aproximaciones previas hemos procedido a la sistematización de la información desde los aspectos más generales a los atributos particulares (tabla 2.1). Es decir, nuestras dos principales categorías hacen referencia a la elaboración de la decoración: la primera hace referencia a la realización de la decoración a partir de la incrustación—categoría A— en la superficie del recipiente cualquier motivo, impreso o inciso, realizado con diferentes útiles; la segunda de ellas consiste en añadir—categoría B— cualquier elemento a la cerámica.

Como se observa en la tabla 2.1 las dos principales categorías se han diferenciado en varios grupos según como se ha elaborado la decoración. En el caso de la categoría A, se han dividido en diferentes grupos a partir de la identificación del modo de realizar la decoración: impresiones simples, pivotantes, combinación de arrastre e impresión o arrastre. Por lo que respecta a la segunda categoría, la B, hemos diferenciado según el material que se ha incorporado para la realización de la decoración: elementos plásticos o coloración.

El siguiente nivel de análisis de las decoraciones consiste en establecer los subgrupos de técnicas utilizadas para su elaboración a partir de lo útiles. Cabe decir que se ha decidido especificar el tipo de instrumento utilizado desde lo general a lo particular.

En la tabla 2.1 se observa que cada técnica tiene asociado un código que proviene de la codificación existente en la base de datos y que pueden ser consultados en el anexo B.2.

14 Aunque estas no se utilizarán en nuestro trabajo, hemos considerado compilarla debido a nuestro interés emplearla en un trabajo futuro con el fin de complementar las conclusiones de la presente Tesis Doctoral; ya que estas son uno de los conceptos más importantes dentro del proceso analítico de los conjuntos cerámicos (Bernabeu et al. 2011, 23).

<i>Class</i>	<i>Gesture</i>	<i>Instrument Level 1</i>	<i>Instrument Level 2 (Technical)</i>
A.Embedded	A1. Simple Impression	A1a. Notched Shell	A1a1. Edge (211,221,31)
			A1a2. Back (32)
			A1a3. Umbo (351)
		A1b. Plain Shell	(231)
		A1c. Single Edge Tool	A1c1. Circular footprint (511)
			A1c2. Short line (512)
			A1c3. Others (513)
	A1d. Double/Multiple Edge tool	(61)	
	A1e. Fingers	A1e1. Single (42)	
		A1e2. Double (43)	
	A2. Pivot	A2a. Notched shell	(212, 222, 33)
		A2b. Plain Shell	(232)
	A3. Drag	A3a. Notched Shell	A3a1. Back (34)
			A3a2. Umbo (352)
A3b. Single Edge Tool		A3b1. Incision (531,532)	
		A3b2. Scratch (533)	
A4. Slag&Drag	(52)		
B. Added	B1. Clay (reliefs)	(11,12)	
	B2. Color	B2a. Painted	71
		B2b. Filled	72
		B2c. Slip (red/Almagra)	73

Tabla 2.1 Categorías y grupos técnicos sistematizados
Table 2.1 Categories and systematized technical groups

**LA ESFERA TEÓRICA:
ARQUEOLOGÍA EVOLUTIVA
EN EL CONTEXTO DE LOS SISTEMAS
COMPLEJOS ADAPTATIVOS**

En la introducción de la presente tesis doctoral ya hemos expuesto nuestra intención de centrarnos en conocer qué procesos están asociados a la formación cultural¹⁵ del primer Neolítico en el Mediterráneo occidental desde una doble visión teórico-metodológica. Este doble enfoque se debe a que en el ámbito arqueológico se está llevando a cabo una nueva *praxis* donde la visión inductiva del pasado –desconocido– está dando paso a la experimentación sistemática y la validación de hipótesis, es decir, asistimos a la transición hacia visiones generativistas (Epstein y Axtell 1997; Epstein 1999; Kohler 2000). En otras palabras, la nueva *praxis* se centra en la generación de escenarios para observar cual de ellos se aproxima más al registro arqueológico.

Nuestro punto de partida es la teoría de la evolución ya que en arqueología nada tiene sentido si no es bajo el prisma evolutivo¹⁶, idea remarcada por Barton en el prefacio de la monografía *Rediscovering Darwin: Evolutionary Theory and Archeological Explanation* (Barton 1997, V). Para ello incorporamos conceptos y métodos propios de la teoría de la complejidad, pero entendiéndola no como se ha concebido tradicionalmente en el ámbito arqueológico (Chapman 2003; 2007)¹⁷, sino más bien considerando los grupos humanos como sistemas complejos adaptativos (Miller y Page 2007), debido a que esta visión nos permite hacer hincapié en determinadas cuestiones tales, como la transmisión de la información, ausentes en el registro arqueológico (Barton 2013a). Como se ha demostrado en un trabajo reciente (Bernabeu, Moreno, y Barton 2012), las visiones narrativas no son incompatibles con lo que Helbing ha bautizado como *physicalist approach* (2010, 325), aunque para el enfoque basado en los sistemas complejos las nuevas técnicas analíticas –simulación– son necesarias (Barton 2013a; 2013b).

En definitiva, los dos enfoques teóricos que utilizaremos han sido desarrollados en ciencias como la Biología y la Física, resultando fundamentales también para comprender la formación de los nichos culturales del Mediterráneo occidental. En otras palabras, un enfoque basado en los Sistemas Complejos Adaptativos, la teoría de la evolución y los métodos asociados a estos nos permitirán investigar qué procesos están asociados a la formación de la diversidad cultural a lo largo del Mediterráneo occidental.

3.1 Sistemas complejos adaptativos

Nuestro trabajo utilizará algunos conceptos y métodos de la teoría de la complejidad, aunque como acertadamente han remarcado Bentley y Maschner, el nombre es inapropiado dado que no es una teoría al uso sino un enfoque centrado en los sistemas que no pueden explicarse

15 En el presente trabajo cuando nos referimos a formación cultural, se hace referencia a los patrones de diversidad cultural espacio-temporal.

16 Esta frase es una modificación del título del artículo publicado por T. Dobzhansky en 1973 “*Nothing in Biology makes sense except in the light of evolution*”.

17 Chapman 2003, dispone de una traducción en castellano publicada por la editorial Bellaterra bajo el título de arqueologías de la complejidad.

por la reducción de las partes que lo componen (Bentley y Maschner 2003, 1). Es decir, nos encontramos ante la ciencia de la complejidad.

En este contexto, la definición del concepto complejidad no es tarea fácil ya que puede presentar numerosas acepciones –Lloyd (2001) plantea 42 posibilidades–. Este gran abanico conceptual a la hora de buscar una definición depende de la parte del sistema que se quiera analizar; por ejemplo, la complejidad debe considerarse en palabras de Mikulecky (2001, 344) como *“the property of a real world system that is manifest in the inability of any one formalism being adequate to capture all its properties”*.

En la comunidad arqueológica el concepto complejidad es muy atractivo (figura 3.1) pero por norma suele ser sinónimo de sociedades complejas, refiriéndose a los grupos humanos que exhiben desigualdades, urbanismo y política jerarquizada entre otros elementos (Kohler 2011; Barton 2013a). La concepción de *más complejo* en las últimas décadas se ha puesto en tela de juicio debido a la consideración de las sociedades humanas como sistemas abiertos, sin equilibrio y donde la materia y/o energía puede fluir (Allen 1997, 42), visión no exenta de críticas –citadas en Beekman y Baden (2005, 7–8)–.

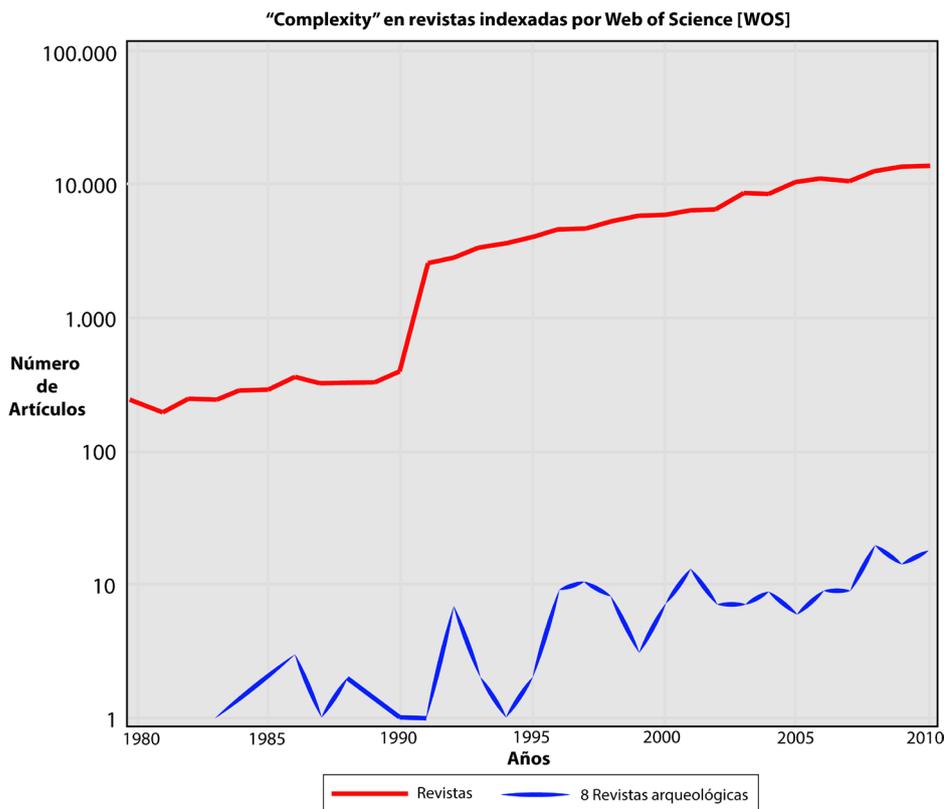


Figura 3.1 Utilización del concepto “complejidad” entre la comunidad arqueológica. Elaboración propia a partir de Kohler 2011.
 Figure 3.1 Using the concept of “complexity” in the archaeological community. Compiled from Kohler 2011.

En la figura 3.1 se compara la utilización del concepto *complexity* en el título o tópico del artículo entre las revistas indexadas y 8 revistas arqueológicas disponibles en la base de datos

web of science. Como se puede observar, en las últimas 4 décadas la complejidad ha incrementado su peso dentro del ámbito científico e incluso este interés se ve reflejado en la comunidad arqueológica.

La nueva perspectiva de abordar la complejidad permite que los componentes del sistema puedan cambiar sus especificaciones y evolucionar a lo largo del tiempo; este enfoque se conoce como sistemas complejos adaptativos –a partir de ahora CAS¹⁸– (Forrest y Jones 1994, 3).

3.1.1. Definición y características de los sistemas complejos adaptativos

Los CAS presentan un número de definiciones proporcional a la cantidad de publicaciones disponibles, aunque la mayoría de ellas definen los CAS como una clase específica de sistema abierto. Nosotros “haremos nuestra” la realizada por Mitchell en su trabajo, *Complexity: A Guided Tour*, donde quedan definidos como “*a system in which large networks of components with no central control and simple rules of operation give to complex collective behavior, sophisticated information processing, and adaptation via learning or evolution*” (Mitchell 2009, 13). En esta definición pueden rastrearse algunas de las principales características como es el carácter adaptativo y el procesado de información. A continuación describimos las propiedades básicas de los CAS:

a) Emergencia [*emergence*]: Esta propiedad *a priori* parece no ser problemática para su aplicabilidad en arqueología dado que intuitivamente la asociamos al surgimiento de una nueva tecnología, por ejemplo (Kohler 2011, 7). De esta forma, la propiedad emergente de los CAS corresponde a nuevos comportamientos que con anterioridad no se han observado en el sistema (Waldrop 1992, 291) o, lo que es lo mismo, estados que sólo resultan visibles en el sistema pero que no son observables en sus componentes. Un ejemplo muy ilustrativo de la propiedad emergente es la ola –*mexican wave*– que se observa en numerosos eventos deportivos (Miller y Page 2004). Esta ola es una secuencia de movimientos ordenada pero no coordinada desde un punto central.

b) Autorganización [*Self-organization*]: implica que los CAS tienden a auto-organizarse sin imposiciones internas o externas. Diferentes ejemplos de auto-organización pueden consultarse en Scholarpedia (Haken 2008). Junto a la auto-organización cabe decir que los CAS se agregan y disgregan mediante la jerarquía encajada, es decir, los componentes inferiores se agrupan con otros subsistemas y estos en otros superiores. Esta capacidad (des)organizativa se conoce como descomposición cercana –*near decomposability*–. Cabe decir que los componentes de los CAS también pueden ser representados mediante redes estructuradas –*Complex Networks*– (Barabási 2005; 2012; Lozano 2009). Un ejemplo muy claro de la existencia de

18 Hemos decidido utilizar las siglas anglosajones CAS [Complex Adaptive Systems] frente a las siglas resultantes de la traducción del término al castellano SCA por el hecho que tanto la comunidad científica como nosotros estamos más familiarizados con las siglas en inglés.

auto-organización corresponde al imperio romano. Este, cuando tuvo problemas políticos se desagregó en dos unidades administrativas, el imperio romano de Oriente y el de Occidente. En otras palabras, cuando el imperio estuvo al borde del colapso tuvo una auto-organización, descomponiéndose en unidades más pequeñas. Un ejemplo muy similar, pero asociado al imperio chino puede consultarse en el trabajo de Johnson (1982).

c) Sistemas no lineales [*Nonlinear*]: Las interacciones en el sistema carecen de linealidad, es decir, pequeños cambios pueden producir grandes transformaciones y viceversa. Este fenómeno fue bautizado por el matemático Lorenz como efecto mariposa. La idea de la no linealidad reside en que los CAS se encuentran en el límite entre el orden y el caos, siendo esta ausencia de linealidad una precondition de la ciencia de la complejidad (Cilliers 1998, 4).

d) Sistemas Abiertos [*Open systems*]: Como se ha remarcado a lo largo de la introducción, los CAS son sistemas abiertos que carecen de equilibrio debido a que requieren un flujo de energía para mantener el sistema (Allen 1997, 42; Cilliers 1998, 4). El ejemplo clásico es el mismo cuerpo humano, ya que este necesita energía para mantener el sistema, es decir, para poder seguir viviendo.

e) Adaptabilidad [*Adaptive*] y proceso de la información [*Information processing*]: Estas son una de sus propiedades más importantes y consiste en la característica de responder al entorno y/o a las interacciones con otros componentes del sistema, en definitiva procesar la información. Los componentes del sistema –agentes– se adaptan a partir de la información que existe a escala local, o sea, estos desconocen el comportamiento global del sistema. Cilliers (1998, 3-4) remarca que las interacciones son dinámicas y complejas pero no determinan el comportamiento del sistema. Cabe decir que la afirmación de Cilliers puede ser discutible debido a que los efectos conjuntos de cambios individuales pueden llevar a cambios drásticos a nivel de sistema. Por ejemplo, durante un periodo de sequía extrema la población decide aumentar el terrero de cultivo para combatirla, no obstante esta decisión puede ser contraproducente ya que puede provocar mayor aridez y una menor precipitación. En definitiva, los agentes para sobrevivir deben ajustarse de forma constante a las condiciones del sistema. Un ejemplo que puede ilustra de manera sencilla esta propiedad es el corazón que incrementa o disminuye la frecuencia de contracciones rítmicas acorde a las condiciones del sistema.

f) Equifinalidad [*Equifinality*], Esta tiene sus orígenes en la Teoría de Sistemas (Bertalanffy 1951). Esta propiedad implica que los sistemas abiertos, como los CAS, pueden llegar a presentar idénticos estados partiendo de condiciones iniciales diferentes, del mismo modo que diferentes estados pueden producirse a partir de las mismas causas (Premo 2010). En otras palabras, caminos muy diferentes pueden conseguir los mismos objetivos. Veamos un ejemplo: una empresa que se dedica a la venta de embutidos ha conseguido incrementar los beneficios. La equifinidad implica que este incremento de los beneficios ha podido realizarse por diferentes

vías: a) reducción de los costes de producción; b) Aumentando las ventas.

En la figura 3.2 se puede observar de forma esquemática el funcionamiento de los CAS, así como las principales propiedades que los caracterizan.

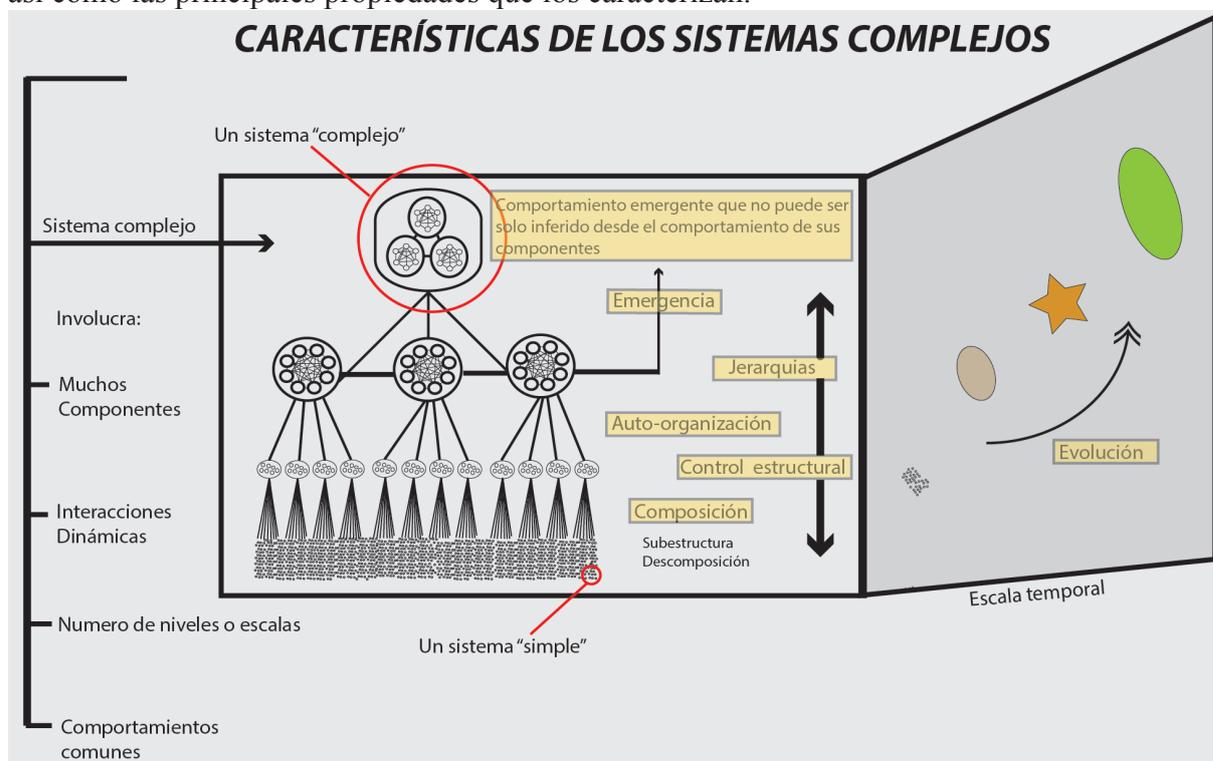


Figura 3.2 Características de los Sistemas Complejos Adaptativos (CAS)

Figure 3.2 Characteristics of Complex Adaptive Systems (CAS)

Las características propias de los CAS han influido para que estos se apliquen a numerosas ciencias como la física, aeronáutica, economía, química, sociología y ciencias del deporte entre otras¹⁹. La principal pregunta que emerge observando su aplicabilidad en otras disciplinas es si son útiles para el estudio de los grupos humanos del pasado y por qué.

3.1.2 Sistemas Complejos Adaptativos y Arqueología: ¿Por qué?

La respuesta en torno a su aplicabilidad es simple; por supuesto que resultan útiles en el ámbito arqueológico ya que las propiedades de los CAS nos permiten comprender las dinámicas de las sociedades humanas, así como sus interacciones (Bentley 2003, 9). Además, la naturaleza del registro arqueológico implica que los arqueólogos observamos la consecuencia de las interacciones entre los humanos con el mundo físico; en otras palabras, el registro arqueológico debe entenderse como el resultado de la propiedad emergente y nunca como la emergencia en si misma (Shennan 2002; Barton et al. 2012; Barton 2013a). En este

¹⁹ Véase por ejemplo Miller y Page (2007) y Mitchell (2009) para diversas aplicaciones.

contexto, es el enfoque basado en los CAS el que nos puede arrojar más luz en torno a la propiedad emergente y la utilización de las nuevas técnicas, por ejemplo los Modelos Basados en Agentes los cuales pueden permitirnos reproducir la propiedad emergente (Barton 2013a, Epstein 1999).

En la misma línea se sitúa el ensayo de Kolher *Complex Systems and Archaeology* donde concluye que “*a CS perspective offers a completely open, rapidly evolving, and non-dogmatic set of approaches to the archaeologist eager to embrace computation for clarifying the structure and behavior of the complex systems our ancestors created and inhabited*” (Kolher 2011, 15). Desde la perspectiva de la arqueología, un enfoque basado en los CAS permite estudiar por ejemplo los procesos que han convertido a pequeños grupos agrícolas en estados políticos (Bernabeu, Moreno, y Barton 2012, 23).

En conclusión, en el contexto de los sistemas complejos adaptativos la computación en general, y la simulación basada en agentes en particular, posibilitan realizar inferencias sobre los aspectos ausentes del registro arqueológico. La teoría de la evolución tiene un papel principal ya que permite dotar a los agentes de reglas (Miller y Page 2007, 180). De este modo, a continuación pasamos a desarrollar las principales interpretaciones de la Teoría de la evolución.

3.2 La teoría de la evolución

“Evolutionary theory is the only scientific theory that explains change (why rather than how), so our commitment to evolution arises from a commitment to an empirical epistemological standard, nothing more” (Lipo et al. 1997, 304).

De las tres grandes teorías desarrolladas en las últimas centurias sobre el origen humano: el evolucionismo –por selección natural–, el creacionismo y la panspermia solo la primera de ellas está perfectamente articulada y es capaz de explicar miles de hechos sin vacilaciones (Buss 1995, 2).

3.2.1 Génesis y postulados de la teoría evolutiva

En las líneas siguientes se presentan los principales actores que han influido en la formulación del pensamiento evolucionista. No vamos a ser exhaustos en susodicha labor ya que existe numerosa bibliografía de síntesis y con diferentes grados de profundidad que analizan la teoría evolutiva, entre las que destacamos la obra de C. Darwin, el trabajo de E. Mayr (1982; 1991) pero sobre todo la obra magna de S. J. Gould (2004) *La estructura de la Teoría de la Evolución*.

Los inicios del pensamiento evolutivo, tal como lo entendemos, se localiza en el siglo XVIII y más en concreto en el año 1735 con la publicación de la obra de Linneo *Sistema*

Naturae. Este presenta una visión fijista (Collado González 2009) ya que los individuos eran creados y no evolucionaban, es decir, no experimentan cambios a lo largo del tiempo. No obstante la representación utilizada por Linneo mediante estructuras arborescentes aún sigue hoy vigente y se conoce como Fenética (García Rivero 2010, 62). Sin embargo con la entrada en el siglo XIX sale a la luz el primer trabajo que plantea la hipótesis evolucionista. Dicho trabajo pionero corresponde a la obra de Lamarck *Filosofía Zoológica* (1809) donde establece la evolución de las especies de lo más simple a lo complejo, así como critica los postulados fijistas. La base del lamarckismo consiste en la herencia de los caracteres adquiridos, es decir, el individuo adquiere nuevos rasgos por aclimatación que transmite a su descendencia y estos, los rasgos, se convierten en adaptación (Gutiérrez Pozo 2010, 23).

Con la publicación de *El origen de las especies*²⁰ a cargo de Darwin (1859) se formula la génesis de la Teoría de la evolución. Hemos sugerido su génesis ya que, como acertadamente plantea Francisco Ayala, cuando en la actualidad hablamos de teoría evolutiva no solemos referirnos a la formulación original sino a la reformulación gestada en los años 30 y 40 del siglo XX por los partidarios del neodarwinismo, rebautizado como teoría sintética (Ayala 2006a, 269). La obra de Darwin se sustenta en tres grandes postulados (Boyd y Silk 2004, 20; Mesoudi 2011) siendo el primero de ellos la lucha por la supervivencia; es decir, la capacidad de crecimiento de una población es infinita pero la capacidad de carga de los territorios es finita por lo que no todos los individuos de una población son capaces de sobrevivir y reproducirse. La variación en la eficacia biológica constituye la segunda precondition darwinista, donde se establece que la variabilidad entre las poblaciones implica que algunas tendrán caracteres que les permitirían sobrevivir y reproducirse con más éxito frente a otras. Finalmente, el tercer postulado corresponde a la herencia de la variación, es decir, las variaciones ventajosas se transmiten de padres a hijos, mientras que los desventajosos desaparecerán. Darwin establece que las variaciones ocurren al azar y no hay ninguna orientación *a priori* rechazando, de forma explícita, la teoría de Lamarck sobre la herencia de los caracteres adquiridos. No obstante en trabajos posteriores matizó el dicho rechazo (Collado González 2009).

Con la formulación de la teoría de Darwin se inicia un debate en torno a ella, que aún continúa, especialmente en el campo de la biología. Algunos coetáneos a Darwin coinciden en la importancia de la selección natural como única fuerza de la evolución, entre los que debemos destacar el mismo Wallace; e incluso a finales de los años 90 del siglo XIX aparece el neolamarckismo, siendo la figura más representativa H. Spencer. La idea principal de la evolución spenceriana radica en que la evolución incorpora un proceso inevitable a través de una escala de complejidad creciente, desde simples microorganismos hasta organismos más complejos, figurado en la parte

20 Para comprender por qué Darwin tuvo la originalidad de los postulados evolutivos en detrimento de Wallace consúltese Collado (2009).

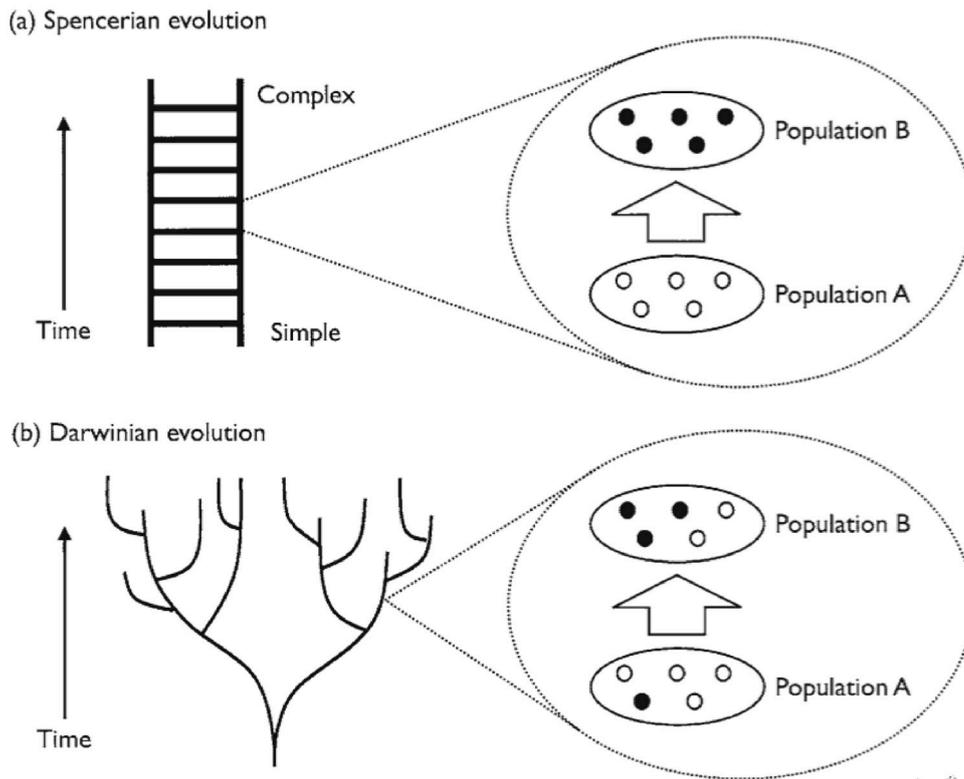


Figura 3.3 Comparación entre la evolución planteada por Spencer y la postulada por Darwin (Mesoudi 2011, 39)

Figure 3.3 Comparison between the process of evolution proposed by Spencer and Darwin (Mesoudi 2011, 39)

más alta de la misma el ser humano (figura 3.3).

Con el reconocimiento de los trabajos de Mendel en los albores del siglo XX se empieza a redefinir la teoría evolutiva concebida por Darwin. Los principales autores de este revisionismo son Dobzhansky, Fisher, Haldane, Mayr, Simpson y Wright entre otros (Ayala 2006a, 269). En esencia esta redefinición remarca la importancia de la selección natural como mecanismo principal del cambio evolutivo realizándose gradualmente. La formulación de la teoría sintética no ha estado ausente del debate focalizándose en tres grandes controversias. En primer lugar las visiones contrapuestas entre los seleccionistas y los partidarios de la teoría neutral. En segundo lugar la cuestión de la escala evolutiva –microevolución *versus* macroevolución– y finalmente, la diferente concepción entre los partidarios de la evolución puntual y aquellos que indican que esta es gradual (Ayala 2006b).

Con independencia de la versión de la teoría evolutiva elegida Sarkar, llega a la conclusión que “*evolution preceedes by mechanisms such as natural selection acting primarily on small blind variation produced at the genetic level*” (2007, 69).

Como hemos visto, la teoría evolutiva ha ido variando a lo largo del tiempo, aunque los cinco postulados pueden ser rastreados en la obra de E. Mayr (Devillers y Chaline 1989, 14–15; O’Brien y Lyman 2000, 132).

a) La evolución, en efecto, ocurre.

b) Todos los grupos de organismos que ahora existen, existirán o que alguna vez llegaron a existir surgieron de un ancestro común. Y todos, en última instancia, se remontan en el tiempo a un único origen de la vida.

c) Las especies se multiplican dividiéndose en especies separadas.

d) La evolución se lleva a cabo a través del cambio gradual dentro de las poblaciones y no a partir de la transformación.

e) La variación de la herencia se produce de forma constante en cada generación y los individuos que están bien adaptados a un conjunto de caracteres darán lugar, de promedio, a la siguiente generación.

Con todo esto, la utilización del pensamiento evolutivo permite aunar bajo la misma esfera –paraguas darwiniano (García Rivero 2012, 71)– enfoques y métodos de diferentes disciplinas; y el carácter prestamista de los arqueólogos (Orton 1999, 30–31) ha permitido aplicar la teoría evolutiva al cambio cultural, formulándose la llamada arqueología evolutiva.

3.3 Arqueología evolutiva

La concepción en torno a la evolución de los rasgos culturales es tan antigua, o más, que la propia teoría de la evolución. Esta perspectiva evolucionista puede rastrearse sobre todo en diferentes trabajos de arqueólogos nórdicos como C.J. Thomsen quien a partir del estudio del patrón decorativo, estilístico y contextual de la colección de Copenhague estableció un sistema de tres edades. Esta división fue corroborada mediante la estratigrafía por su sucesor en el Museo Nacional de Dinamarca J.J.A. Worsaae. La influencia de los trabajos de los arqueólogos daneses puede rastrearse en publicaciones como *Prehistoric Times* [Lubbock, 1865] donde se diferencia entre Paleolítico y Neolítico, o en los albores del siglo XX con la obra de Gabriel de Mortillet donde los artefactos tipos y el criterio de yacimiento-tipo establece una división de la prehistoria en 14 fases.

Con las primeras aproximaciones evolutivas y la publicación de la obra de Darwin la teoría de la evolución ha ido asentándose como base teórica de la disciplina arqueológica. Esta introducción sistemática del pensamiento evolutivo puede rastrearse en numerosos trabajos²¹ (Spencer 1997; Lyman y O'Brien 1997; 1998; O'Brien y Lyman 2000a; 2000b; Bentley 2011), sin embargo las publicaciones de R. Dunnell en los ochenta marcan el punto álgido (Shennan 2008a, 78).

Bajo el sello de la arqueología evolutiva existen diferentes visiones en torno a su aplicación que pueden ser vistas como antagónicas o complementarias (Smith 2000, 27; O'Brien y Lyman 2002a, 34; Shennan 2002, 15). Las cuatro grandes líneas evolutivas corresponden a

21 Consúltese la web <http://www.cobb.msstate.edu/lineage.html> donde puede obtener un listado de investigadores que aplican la teoría evolutiva en sus investigaciones [Acceso 21-11-2014].

la seleccionista, la psicológica, la ecológica y la genética, sumándose en los últimos años una nueva propuesta que se conoce como la teoría de la triple herencia (Odling-Smee, Laland, y Feldman 2003).

3.3.1 *Misma teoría, diferentes perspectivas: las escuelas evolutivas*

Los diferentes enfoques –estilos en palabras de A. Smith (2000)– en la aplicación de la teoría evolutiva deben ser considerados en relación a las tradiciones investigadoras de la antropología y la arqueología (Smith 2000, 33). La idea que subyace en esta reflexión debe entenderse como la analogía arqueológica de la influencia de la teoría evolutiva en otras disciplinas.

3.3.1.1 *La Arqueología seleccionista*

La arqueología seleccionista o darwinista mantiene que el registro arqueológico solo puede ser explicado por la influencia de la selección natural y otros procesos darwinistas en la variación de los artefactos y comportamientos que se heredan (Boone y Smith 1998, 141). En otras palabras, la arqueología seleccionista plantea la aplicación de la teoría evolutiva darwinista para explicar la presencia desigual de determinados fenotipos en el registro arqueológico (Jones, Leonard, y Abbott 1995, 28). Este enfoque nace a partir de la concepción del fenotipo extendido (Dawkins 1993 [1976]), no limitado a los procesos biológicos, con el fin de argumentar que los artefactos son la parte dura del comportamiento (Dunnell 1980). Es decir, parte de la consideración de los artefactos como la unidad básica del cambio.

Esta escuela tiene un gran peso en la academia americana (O'Brien y Lyman 2000b, 126) y se caracteriza por dos cuestiones fundamentales (Clark y Barton 1997, 316). La primera de ella se centra en la identificación y cuantificación de los tipos de variación. Mientras que la segunda se corresponde al rastreo de la historia de la fuerza de la selección que afecta a la variación.

En cuanto a la primera se basa en las siguientes premisas:

a) **Función y estilo de los artefactos:** La idea reside en diferenciar la unidad básica, los artefactos, en relación al valor adaptativo (Dunnell 1978). Brevemente el estilo se define como los caracteres neutrales, o sea, son los rasgos que no tienen ningún valor adaptativo, mientras que la variación funcional se define como los caracteres que tienen efectos sobre el *fitness* de los individuos. Esta distinción resulta interesante ya que los caracteres neutrales [estilo] al no estar sometidos a las presiones de la selección muestra una presencia en el registro arqueológico asociada a procesos como la deriva cultural. Mientras que los caracteres selectivos [función] mostrarán a lo largo del tiempo patrones que difieren de los neutrales. En definitiva, la dicotomía estilo-función implica que el estilo seguirá un patrón aleatorio asociado a la deriva mientras que la función seguirá un patrón direccional debido a la presencia de la selección natural.

b) **El éxito replicativo:** En torno al llamado éxito replicativo (Leonard y Jones 1987) se

hace hincapié en la ventaja relativa de alguna variante de artefactos sobre otras, y esta ventaja da lugar al incremento de la frecuencia del mismo, aunque algunos autores remarcan que el éxito replicativo no implica necesariamente que el rasgo en cuestión haya sido influido por la selección (O'Brien y Holland 1992, 46). Los seleccionistas argumentan que el cambio evolutivo es el resultado de las variaciones y la selección, e indican que no importa realizar distinciones entre diferentes tipos de selección ya que el resultado es el mismo, o sea, la frecuencia desigual de las variables.

c) Unidades de medida: Estas son las encargadas de medir la variación y se sustentan sobre la *paradoja materialista* (Dunnell 1995, 33–34) que consiste que las unidades de medida son teóricas no empíricas y por consiguiente no existen en el mundo real. En otras palabras, la cultura es un fenómeno ideal cuya base es material.

d) Intencionalidad y dirección: La idea reside en que cualquier decisión que se toma no puede ser considerada como guiada respecto al agente selectivo. En otras palabras, las variaciones –intencionadas o no– no dirigen el cambio evolutivo debido a la imposibilidad de predecir qué aspecto de la conducta estará bajo el prisma de la selección en el futuro, incluso algunos investigadores argumentan que la intencionalidad no debe considerarse como un elemento explicativo ya que ésta no puede ser contrastada desde una perspectiva arqueológica (Rindos 1985).

El rastreo de la fuerza de la selección se basa en los siguientes métodos:

a) La seriación: los seleccionistas indican que es el método más óptimo para analizar el cambio (O'Brien y Lyman 2002b) ya que permite reconstruir la secuencia del cambio a partir del patrón observado. Los partidarios de la arqueología darwinista argumentan que los rasgos estilísticos propuestos por Dunnell son los más convenientes para reconstruir la seriación debido a su neutralidad, es decir, no están afectados por la selección. En definitiva, los rasgos neutrales permiten reconstruir el linaje de cada artefacto, la genealogía.

b) Cladística: consiste en un método de clasificación que agrupa jerárquicamente las unidades a partir de la evolución de un ancestro común²².

En definitiva, la arqueología darwinista argumenta que el cambio cultural debe ser analizado como cambio evolutivo y aunque no hay consenso y ha sido objeto de múltiples críticas (Boone y Smith 1998), numerosos autores, entre los que destacamos O'Brien y Lyman, recalcan en que ésta resulta fundamental para la (re)construcción de linajes culturales.

3.3.1.2 La Arqueología cognitiva

La arqueología psicológica o de la cognición se define como aquella que analiza el registro arqueológico desde la perspectiva de las teorías y métodos psicológicos (Wynn 2005, 390),

22 Para una explicación pormenorizada de la cladística y su aplicación en el ámbito arqueológico puede consultarse, por ejemplo, la obra de O'Brien y Lyman (2003a) *cladistics and archaeology* o la publicada por García Rivero (2013) *Arqueología y Evolución: a la búsqueda de filogénesis culturales*.

aunque otros investigadores remarcan que esta aúna sus esfuerzos en comprender el origen y evolución del comportamiento simbólico humano (Rivera 2005, 28). En un trabajo reciente titulado *The emergence of cognitive abilities: the contribution of neuropsychology to archaeology* se indica que su acogida entre los arqueólogos está creciendo rápidamente aunque en numerosas ocasiones no utilizan los últimos avances de la ciencia de la cognición (De Beaume 2009, 2).

La disciplina sobre la cual se fundamenta es la psicología evolutiva, que debe definirse como la rama de la psicología que aplica la teoría evolutiva para explicar los fenómenos psicológicos (Buss 1995). Existen numerosas líneas de investigación que se apoyan en la psicología evolutiva, como teóricos de la teoría de juegos, ecólogos del comportamiento y epistemólogos evolutivos (García Rivero 2013, 51). Si bien, todos estos enfoques se sustentan sobre dos pilares fundamentales:

a) El carácter modular de la mente humana: La idea reside en que la mente esta formada por diferentes módulos diseñados por la selección natural para afrontar los problemas de supervivencia a partir de la búsqueda de soluciones eficientes (García y Carpintero 2000, 615). En otras palabras, la modularidad de la mente posibilita que el comportamiento humano tienda a realizar tareas especializadas en lugar de quehaceres generales. El carácter modular del cerebro humano ha sido criticado desde la arqueología de la cognición, en parte, debido a la influencia del trabajo de la psicóloga Karmiloff-Smith quien argumenta que el carácter modular surge en una fase tardía de la mente humana, evolucionando a partir del contexto cultural (Mithen 1998, 64). A partir de esta premisa Mithen en su libro *Arqueología de la mente*, mantiene que la evolución de la mente humana se produce en tres etapas (Ibídem 1998, 72): una primera fase dominada por la inteligencia general, o sea, reglas para el aprendizaje general y la toma de decisiones; el segundo estadio se caracteriza por la complementariedad de la especialización múltiple, entre ellas la de la conducta; y la tercera y última fase, donde la especialización múltiple trabaja conjuntamente a partir del flujo de conocimiento e ideas entre las distintas áreas de la conducta. Un ejemplo arqueológico asociado a esta modularidad sería la llamada inteligencia técnica que es la encargada de la elaboración de útiles.

b) Conducta adaptativa: La base que utiliza la psicología evolutiva para explicar la presión selectiva de los mecanismos cognitivos se conoce como *ambiente de adaptabilidad evolutiva* – AAE–. El ejemplo clásico que se utiliza desde la psicología evolutiva de AEE corresponde a los ambientes de sabana africana donde vivían los grupos pequeños de cazadores recolectores (Laland y Bronw 2006, 26). Este ambiente de adaptabilidad ecológica obligó a nuestros ancestros a evolucionar para adaptarse al entorno. La psicología evolutiva sugiere que el hombre actual no está adaptado cognitivamente a las situaciones socioculturales actuales, es decir, estamos adaptados desde una perspectiva cognitiva a los ambientes de sabana africana. Un ejemplo muy ilustrativo lo encontramos en el libro *Genes, Memes and Human History* (Shennan 2002, 15)

donde se argumenta que el problema de la obesidad que presenta la sociedad actual se debe al deseo de adaptación de nuestros ancestros a la fruta dulce y madura.

La arqueología cognitiva acepta las bases de la psicología evolutiva, pero con matizaciones ya que ésta considera que la mente no funciona como módulos aislados unos de otros y sobre todo, que la formación de la modularidad no está diseñada *a priori* sino que se desarrolla debido al contexto cultural y se articula a partir de la fluidez cognitiva (Mithen 1998, 78). Si bien, en torno a los ambientes de adaptabilidad evolutiva la postura de la arqueología de la cognición es más crítica ya que acusan a la psicología evolutiva de realizar una visión simplista de la historia de la evolución (Mithen 1997, 69). En definitiva, Mithen (1998, 10-11) a partir de la comparación de la obra *Los orígenes de la mente moderna* (McDonald 1991²³) y su obra *Arqueología de la mente* (1998) indica la principal diferencia entre la psicología evolutiva y la arqueología cognitiva consistente en la interpretación del material arqueológico. En otras palabras, la diferencia se basa en quien realiza explica el registro puesto un psicólogo realiza una interpretación psicológica del registro material arqueológico mientras que un arqueólogo explica el registro utilizando ideas propias de la psicología.

3.3.1.3 Ecología del comportamiento humano

Los cimientos de la ecología del comportamiento humano –a partir de ahora HBE²⁴–, se sitúa en los años 70²⁵ con la extrapolación de las ideas de adaptación planteadas en la sociobiología a datos obtenidos en poblaciones humanas reales (Laland y Bronw 2006, 23), y es considerada como una rama de la ecología evolutiva consistente en en el estudio de esta evolución y adaptación en contextos ecológicos (Smith y Winterhalder 2003, 378). En definitiva, ésta surgió a partir de la aplicación de los modelos y conceptos de la ecología evolucionista estudiando las sociedades humanas desde una visión reduccionista²⁶ y socioecológica (Winterhalder y Smith 2000, 52).

La HBE se define como la disciplina que estudia la evolución y adaptación del comportamiento humano desde una perspectiva ecológica. Los partidarios de la HBE remarcan que el entorno –medio ambiente– es el motor del cambio (Shennan 2008a, 78). En definitiva, desde la HBE cualquier investigación se inicia con la siguiente pregunta: ¿qué factores ecológicos han forzado la selección del rasgo X? (Smith 2000, 29) y se basa en un enfoque conocido como *gambito fenotípico* que consiste en ignorar los detalles de la herencia genética, siendo el comportamiento una adaptación realizada por la toma de decisiones influidas por la selec-

23 Psicólogo que presenta un estudio de la evolución de la mente [Citado en Mithen 1998].

24 Corresponde al acrónimo de la traducción inglesa Human Behavior Ecology.

25 Consúltese el trabajo de revisión historiográfica realizado por Winterhalder y Smith (2000). Cabe decir que las obras principales son desarrolladas en el apartado 3.3.1.3.

26 Smith en su artículo sobre tres estilos de enfocar el pensamiento evolucionista habla de piecemeal approach.

ción natural (Shennan 2002, 23). De esta manera, las características fenotípicas, por ejemplo el comportamiento, no son concebidas como resultado de la genética sino que se basan en las decisiones individuales afectadas por la selección natural y por lo tanto, no se hace necesario demostrar las bases de la herencia.

La base de la ecología del comportamiento humano se centra en la utilización de los modelos de optimización que *grosso modo* consisten en responder ante los problemas existentes en el medio ambiente de manera óptima para poder sobrevivir y mantener el éxito reproductivo (Shennan 2002, 24; 2008a, 78). Ciertamente existe un matiz en torno a la optimización, a causa de que el comportamiento no siempre es óptimo, aunque sí existe una tendencia hacia formas óptimas del mismo. Esta matización se conoce como optimización restringida (Winterhalder y Kennett 2006, 11).

El trasfondo metodológico de la escuela HBE se basa en la utilización de la teoría de forrajeo óptimo –a partir de ahora OFT²⁷– aplicado a tres grandes tópicos: producción, reproducción y distribución (Smith y Winterhalder 2003, 380). La OFT es una teoría basada en modelos diseñados por la biología que analizan diferentes cuestiones como la selección de recursos, de hábitat y tiempo de residencia en un lugar, entre otros. Diferentes aplicaciones de estos modelos centrados en el análisis de la transición a la agricultura pueden consultarse en la obra editada por Kennett y Winterhalder (2006). Del mismo modo, el trabajo de McClure (2011) se puede consultar una aplicación en torno a las producciones del Neolítico en el Este peninsular.

Cabe decir que los principales modelos utilizados por la escuela HBE son los siguientes:

a) Amplitud de dieta: Este modelo es el más utilizado en el ámbito arqueológico (Winterhalder y Kennett 2006, 14) y se centra en predecir el comportamiento óptimo en relación a la explotación de recursos, o sea, es un modelo centrado en investigar la selección de recursos mediante la comparación de los costes de búsqueda y caza/recolección-procesado.

b) Selección de celda: Este puede ser considerado como una extensión del modelo anterior (Winterhalder y Kennett 2006, 15) donde las celdas son los lugares donde se localizan los recursos pudiendo disponer de rendimiento energético desigual.

c) Estabilidad temporal: Este modelo hace referencia al teorema del valor marginal (MacArthur y Pianka 1966) que consiste en predecir el comportamiento óptimo de los actores dentro de un ambiente heterogéneo, o sea, las celdas presentan energía variable. A modo de ejemplo, un agente que posee una estrategia basada en maximizar los recursos se mantendrá en la misma celda hasta que el valor de esta sea el mismo que la media del rendimiento de todas las celdas igual a la explotada. Así que la estabilidad temporal en una celda está relacionada con el valor energético de la misma.

d) Lugar central: El modelo aúna sus esfuerzos para predecir el comportamiento óptimo en

27 Corresponde al acrónimo de la traducción inglesa Optimal Foraging Theory.

relación a la dicotomía lugar-recursos así que, en consecuencia, la variable crítica es la distancia desde el lugar central al área donde están los recursos. Este modelo permite obtener dos series de resultados: 1) La selección de los recursos ya que el incremento de los costos es proporcional al de la distancia. 2) Permite predecir el manejo de la energía, por ejemplo el procesamiento de la materia.

e) Selección de hábitat: El modelo clásico de selección de hábitat se conoce como distribución libre ideal (Fretwell 1970²⁸) –a partir de ahora DLI–. Este consiste en que la selección del hábitat está en relación a la abundancia de recursos y densidad de población. El modelo asume que los primeros colonos ocupan los mejores territorios y los nuevos habitantes que se incorporan se asientan en el hábitat ocupado, así que los territorios ocupados dividen los recursos equilibrándose en relación a la densidad ocupacional. En definitiva, el modelo de selección de hábitat DLI predice la ocupación de los hábitats en relación a su importancia así como las densidades de población en equilibrio, las cuales serán proporcionales a la calidad de sus recursos (Winterhalder y Kennett 2006, 16; McClure, Jochim y Barton 2006).

Una variante interesante de este modelo es la distribución ideal despótica (Sutherland 1996) que consiste en la defensa de los recursos disponibles por parte de la población existente cuando se producen situaciones de alta densidad poblacional. En esta modalidad, los nuevos actores que se incorporan tienden a buscar celdas con recursos energéticos altos, ya que los beneficios se relacionan con el orden de llegada al territorio (Shennan 2008a, 86). Una aplicación de este modelo en arqueología puede consultarse en Shennan (2008b) donde plantea que la expansión de los primeros grupos neolíticos del LBK, y por consiguiente el patrón territorial, seguiría un modelo de distribución ideal despótica.

Todos los modelos descritos presentan cuatro conceptos fundamentales de la optimización: actores, estrategias, moneda y restricción (Shennan 2002, 24–25). El primero de ellos hace referencia a las decisiones de cada uno de los individuos, es decir, el que toma la decisión de cómo actuar. Las estrategias hacen referencia a las opciones disponibles; por ejemplo, la especialización versus diversificación. La moneda es un valor que hace referencia al cálculo de los costes y beneficios. Finalmente, la restricción se centra en las características del contexto ambiental y social.

En el caso arqueológico, la utilización de la OFT no se aplica igual que en los estudios etnográficos debido a dos cuestiones básicas (Shennan 2002, 148-149). Por un lado, por una cuestión metodológica, ya que no podemos viajar al pasado para observar las poblaciones que estamos analizando y, por extensión, no podemos realizar los diferentes cálculos –tiempo de caza, valor calorífico, etc...–. Por otro lado, la información etnográfica proviene de una ventana temporal concreta y no representa tendencias a largo plazo. Esta también plantea dudas ya que las poblaciones cazadoras-recolectoras que aún existen pueden estar “contaminadas” por los

28 Citado en Sutherland (1996).

valores de las poblaciones occidentales (ibídem 2002, 149).

En conclusión, la HBE presenta muy buena aceptación entre la comunidad arqueológica debido a que puede ser implementada desde diferentes puntos de vista, siendo la obra *People and Things: a behavioral approach to material culture* (Skibo y Schiffer 2008) un muy buen ejemplo de ello.

3.3.1.4 La teoría de la herencia dual

Del mismo modo que la HBE, la teoría de la herencia dual –a partir de ahora DIT²⁹– tiene sus orígenes en la sociobiología y más en concreto en dos enfoques paralelos que se desarrollaron en la década de los 70 (García Rivero 2013, 41–43). La primera perspectiva está representada por la obra de Wilson (1975) *Sociobiology: The New Synthesis* donde el autor argumenta a partir de la observación de los insectos, que los patrones de comportamiento animal pueden ser explicados por la acción de la selección natural (figura 3.4a). La segunda visión remarca que la selección natural actúa a escala genética debido a que son los genes los responsables de codificar la información que se replica y se transmite generacionalmente, siendo el investigador más influyente Dawkins ([1976] 1993) con su obra *El gen egoísta: las bases biológicas de nuestra conducta*. Ambos enfoques plantean la posibilidad de extrapolar sus observaciones al comportamiento humano remarcando la nula influencia de la cultura en el proceso de evolución. Entre este cabe destacar la analogía elaborada por Dawkins, donde se acentúa que la herencia cultural se realiza mediante los *memes* (Dawkins 1993, 218) unidades que replican la información cultural. La aplicación de las ideas de la sociobiología al estudio humano recibe el nombre de *sociobiología humana* y en esencia ésta argumenta que no es necesario conocer los detalles de la transmisión cultural para predecir el comportamiento humano (Boyd y Richerson 1985, 12-13).

En este contexto de *preferencia genética* surge la teoría de la herencia dual (figura 3.4b). Su aplicación entre la comunidad arqueológica desde su formulación inicial, a principios de la década de los 80 (Boyd y Richerson 1985), ha ido incrementándose debido a su utilidad para la (re)interpretación de los datos existentes desde nuevas visiones centradas en los procesos evolutivos de la cultural material (Eerkens y Lipo 2007, 264). La teoría de la herencia dual se define como la perspectiva que analiza la cultura y los genes como procesos coevolutivos puesto que presentan variaciones, *fitness* y sistemas de herencia. En otras palabras, plantea la existencia de una herencia doble en las poblaciones humanas: la genética y la cultural. Una serie de conceptos definen las características principales que conforman la DIT:

1) Cultura: Constituye un concepto complejo desde la perspectiva arqueológica, pudiendo abarcar numerosas cuestiones, aunque suele asociarse a dos grandes ideas: la que hace referencia a la información que caracteriza un grupo/sociedad en un momento cronológico específico

29 Corresponde al acrónimo de la traducción inglesa Dual Inheritance Theory.

y la que se refiere al sistema de herencia cultural en su conjunto. No obstante, el concepto “cultura” siempre presenta problemas en su definición (Richerson y Boyd 2008, 304). La definición perfecta de cultura no existe ya que esta se describe en concordancia al interés del investigador.

Nosotros aceptamos la definición realizada por Boyd y Richerson (1985, 33) que definen cultura como “*information capable of affecting individuals’ phenotypes which they acquire from other conspecifics by teaching or imitation*”. De esta definición cabe destacar dos cuestiones esenciales que ya han sido remarcadas en otros trabajos (Shennan 2002, 37): en primer lugar cultura no es lo mismo que comportamiento y, en segundo lugar, no toda la información que puede afectar a los fenotipos de la población es cultural. En definitiva, no hay duda que la cultura no debe ser considerada como una simple variación de la *manifestación visible* del genotipo, sino que debe ser considerada como un elemento principal que caracteriza a las sociedades humanas.

2) Unidad de herencia: El primer problema que encontramos es la falta de consenso en torno a la nomenclatura, entre la que destacamos *memes* (Dawkins 1993, 218 [1973]) y variantes culturales (Boyd y Richerson 1985, 33). Una lista detallada de vocablos utilizados puede consultarse en García Rivero (2013, 64). El hecho de hacer referencia a estos dos términos no ha sido una decisión inocente, sino más bien lo contrario; estas dos palabras nos permiten presentar las dos grandes visiones de estas unidades. La primera de ellas concibe las unidades de herencia como partículas análogas de los genes, esto es, unidades de replicación de la información cultural. Los *memes* o similares presentan tres características (Boyd y Richerson 2005, 429): a) fidelidad en el momento de realizar la copia y por consiguiente los cambios culturales se realizan lentamente; b) fecundidad del *replicator* para crear múltiples copias de él, en otras palabras, debe tener suficiente capacidad para multiplicarse; c) longevidad suficiente como para afectar a su propia tasa de replicación.

La segunda corriente, las de las variantes culturales, es la que no acepta la unidad de herencia como partículas o *bits* de información cultural (Boyd y Richerson 1985, 37; Richerson y Boyd 2005, 90). La principal razón reside en que algunos procesos básicos de interacción humana –como el aprendizaje social– tienen muchos problemas para ser explicados desde la memética. En este mismo sentido, Whitehouse (1999)³⁰ realiza un estudio pormenorizado donde expone por qué la visión del meme como unidad de replicación cultural no es válida en el contexto de la teoría de la herencia dual.

3) Herencia cultural: Esta, *grosso modo*, debe entenderse como los rasgos que se transmiten de una generación a otra. Algunos autores la definen como una renovación de al menos un rasgo fenotípico a través de transmisión directa o indirecta entre diferentes entidades (Avital y Jablonka 2000, 54). En otras palabras, la herencia cultural consiste en la adquisición por parte de un indi-

30 Citado en Shennan (2002, 47)

viduo de un meme o grupo de ellos de otras personas mediante diferentes procesos, y esta solo ocurre si determinados individuos adquieren su comportamiento de otros individuos vía modelos de imitación u otros procesos (Boyd y Richerson 1982, 328).

Aclarados algunos conceptos básicos estamos en disposición de describir las principales premisas sobre las que se sustenta la DIT:

a) La evolución humana es un proceso coevolutivo ya que existe una relación directa entre dos elementos somáticos, por ejemplo: gen-gen, meme-meme o gen-meme. Un ejemplo muy ilustrativo del carácter coevolutivo es la tolerancia de los adultos a la lactosa (Holden y Mace 1997). Estas investigadoras llegan a la conclusión en su estudio filogenético sobre poblaciones actuales que la tolerancia a la lactosa coevolucionó a partir de la domesticación animal (ibídem 1997, 615). En otras palabras, aquellas poblaciones que tuvieron contacto con la ganadería tienen más tolerancia a la lactosa. Este es un ejemplo de coevolución gen-meme.

b) El ser humano tiene un carácter cooperativo a gran escala y, por consiguiente, existe una gran dificultad en caracterizar la cultura en términos de auto-interés puesto que los individuos forman parte de más de un grupo social y en numerosas ocasiones el interés personal queda sometido al interés del grupo –selección del grupo– (Boyd y Richerson 1982, 326).

c) La DIT no acepta el rol de la genética en los aspectos culturales, ya que argumentan que la cultura se hereda mediante mecanismos que difieren de la herencia genética (Boyd y Richerson 1982, 327). Pero, ¿cuáles son las diferencias entre ambas herencias? Esta cuestión ha sido desarrollada por los mismos autores en su obra *Culture and the evolutionary process* de forma convincente (Boyd y Richerson 1985):

c1) El “sistema de apareamiento” cultural es diferente de su análogo genético: En las sociedades humanas existen roles asociados al proceso de aculturación de individuos que no se relacionan con los parientes genéticos. Es decir, la herencia cultural presenta los llamados parientes culturales o modelos (Ibídem 1985, 7). La adquisición de cualquier rasgo cultural se realiza por rutas y mecanismos de transmisión cultural³¹ y las frecuencias de los rasgos culturales están afectadas por selección natural, variación guiada y sesgos de transmisión (Richerson y Boyd 2005, 192).

c2) La escala temporal de la generación cultural: El tiempo de la evolución cultural presenta una gran variabilidad, pudiendo ser más rápida o más lenta que la generación genética. La razón se asocia a la característica anterior, a saber, no existe la necesidad de que los individuos adquieran los caracteres de sus procreadores para, a su vez, transmitirlos a la siguiente generación, sino que el comportamiento de cualquier individuo puede ser copiado.

c3) Los individuos están parcialmente desarrollados cuando son aculturados. Las personas reciben información cultural después de su nacimiento y ésta básicamente se realiza en dos gran-

31 Las rutas y mecanismos de la transmisión cultural serán explicados en el apartado 3.3.2

des periodos (Boyd y Richerson 1985, 8). Una primera fase de adquisición de rasgos culturales tiene lugar durante la infancia mediante la transmisión de los parientes biológicos, mientras que en un segundo momento los rasgos culturales se adquieren por medio de mecanismos que difieren sustancialmente de la primera fase, es decir, la información se recibe mediante una ruta de transmisión cultural horizontal y con la presencia de sesgo.

c4) La cultura se adquiere por copia directa del fenotipo. La información cultural que se obtiene por cada individuo puede ser modificada por cuestiones que ocurran a lo largo de la vida de cada persona, y la modificación puede ser transmitida a otros individuos. Por lo que respecta a la información genética esta nunca se modifica por cualquier evento que ocurra en la vida del individuo.

d) La herencia cultural presenta efectos de retroalimentación a escala poblacional (Shennan 2002, 45). Según esta premisa, algunas formas de herencia suponen que, con independencia del entorno, la frecuencia de cualquier meme dentro de una población en determinado momento estará asociada a su presencia en el estadio anterior. En otras palabras, hay una relación directa entre la frecuencia de una característica cultural en el presente y la frecuencia de la misma en el pasado inmediato.

A modo de conclusión, la DIT posiblemente es el enfoque evolutivo que más seguidores presenta debido a que ésta se concibe como una teoría de reconciliación entre las visiones biológicas y las culturales (Boyd y Richerson 1985, 281). Este hecho se debe a la definición de un sistema de herencia paralelo al genético que convella la existencia de procesos de transmisión dispares influyentes en el proceso evolutivo de los genes y los *memes*. En otras palabras la concepción de un sistema doble de herencia implica que las unidades heredadas puedan presentar *trayectorias evolutivas diferentes*.

3.3.1.5 La teoría del nicho cultural

Este nuevo enfoque desarrollado a finales de los 80 por Odling-Smee y colaboradores (1988; 2003; 2006; 2013) incorpora la cuestión del nicho ecológico a la teoría de la herencia dual, siendo la razón por la que también es conocida como teoría de la herencia triple o versión extendida de la teoría estándar de la evolución (Odling-Smee, Laland, y Feldman 2003). Esta se sustenta sobre tres pilares básicos (figura 3.4c):

a) Los organismos responden a las presiones de la selección natural mediante la modificación de su entorno. Este proceso recibe el nombre de “construcción del nicho” transmitiéndose a generaciones posteriores por herencia ecológica (Odling-Smee 2006, 44). Entre los ejemplos presentados por Odling-Smee y colegas (2003) debemos destacar el caso de las lombrices las cuales realizan una modificación del entorno a partir de la alteración de la estructura y química de los suelos.

b) La herencia ecológica consiste en la transmisión del entorno modificado y esta funciona de manera muy diferente a la herencia genética.

c) La herencia genética se transmite de padres a hijos mientras que la herencia ecológica se transmite de manera múltiple, ya que son diversos actores los que realizan la construcción del nicho (Odling-Smee 2006, 48).

Shennan (2002, 271) indica que esta teoría ha pasado desapercibida dentro de la arqueología evolutiva debido a que los investigadores se han centrado en los procesos asociados a la selección y la adaptación³², aunque en los últimos años empieza a tener más peso en la bibliografía (Shennan 2006; 2011a; Boyd, Richerson, y Henrich 2011; O'Brien y Laland 2012).

En la siguiente figura (figura 3.4) se comparan, a modo de resumen, los tres tipos de herencia desarrollados en el contexto de la evolución cultural: a) Herencia simple o visión de la sociología humana –sociobiología–; b) Sistema de la doble herencia o teoría de la coevolución

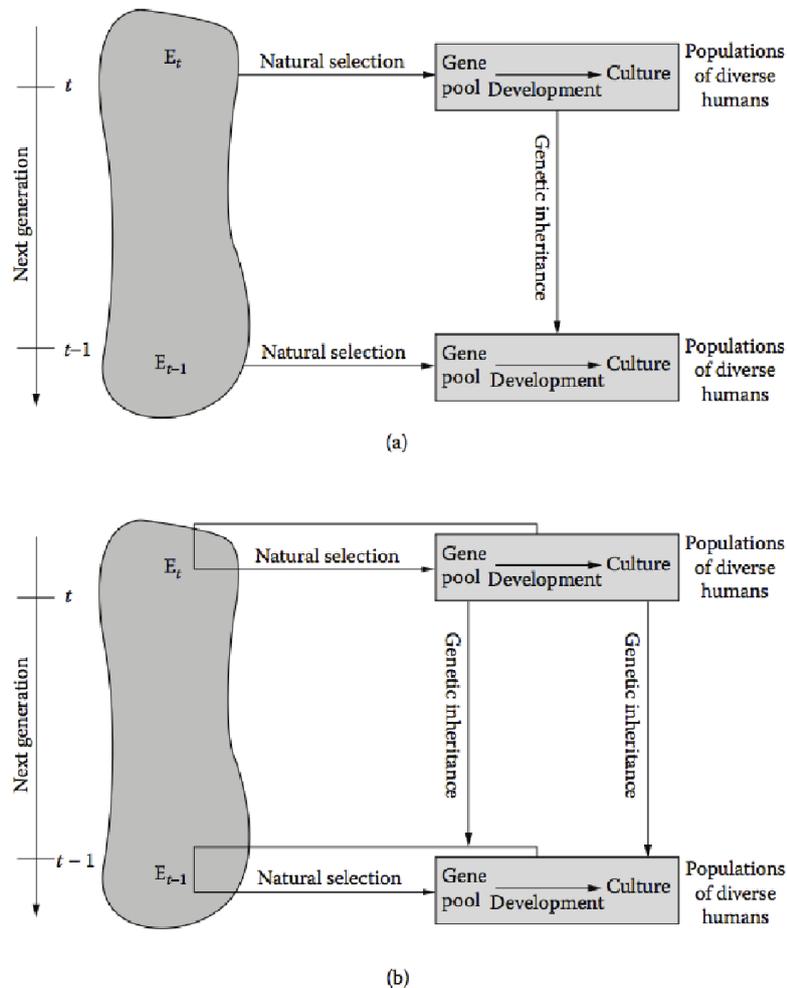


Figura 3.4a y b Comparación entre los tres tipos de herencia desarrollados en el contexto de la evolución cultural (Odling-Smee 2006, figura 3.2)
 Figure 3.4a & b Comparison between the three types of inheritance developed within the context of the cultural evolution (Odling-Smee 2006, figure 3.2)

32 Sterelny critica la afirmación de Shennan argumentando que la teoría de la construcción del nicho cultural es necesaria para analizar la información conforme el paso de generaciones (Sterelny 2006, 150–151).

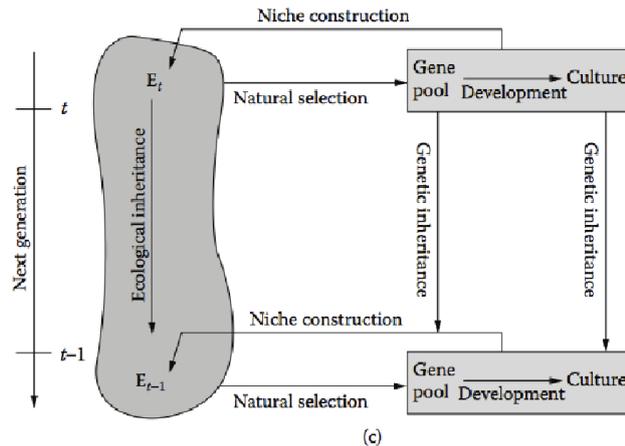


Figura 3.4c Comparación entre los tres tipos de herencia desarrollados en el contexto de la evolución cultural (Odling-Smee 2006, figura 3.2)
 Figure 3.4c Comparison between the three types of inheritance developed within the context of the cultural evolution (Odling-Smee 2006, figure 3.2)

gen-cultura y c) Sistema de la triple herencia o teoría de la construcción del nicho.

3.3.2 La transmisión cultural

La transmisión cultural puede definirse como un conjunto de procesos microevolutivos que conllevan la variación de los rasgos en el tiempo (Mesoudi 2011, 55). Esta puede entenderse como el proceso a escala individual por el que determinados mecanismos influyen en la frecuencia de los *memes* a escala poblacional en el flujo de la información no genética. En definitiva, la transmisión cultural resulta esencial para disponer de una teoría completa de la evolución cultural ya que ésta es la encargada de establecer las reglas (Cavalli-Sforza y Feldman 1981, 54).

La transmisión cultural la solemos asociar a las sociedades humanas, pero esta también puede observarse en el reino animal desde pájaros hasta primates. Sin lugar a duda, es en el área de la primatología donde más ha sido estudiada esta cuestión y más patrones de transmisión cultural se han documentado. Por ejemplo, en un estudio realizado por la *Kioto University* en la isla de Kos-hima los científicos situaron batatas en la playa con el fin de observar la conducta de los primates. Inicialmente los macacos pasaban mucho tiempo frotando los tubérculos para limpiarlos, hasta que con el paso del tiempo una hembra limpió la batata en un arroyo cercano, lo que hizo que nueve años más tarde esta conducta fuera realizada, al menos, por el 80% de los macacos (Harris 2001, 39 [1983]). Por otro lado, otras investigaciones han observado que las redes también tienen un peso fundamental en el aprendizaje social de los primates (Franz y Nunn 2009).

En el caso de de las sociedades humanas, los estudios deben diferenciarse entre aquellos que se han realizado en sociedades actuales –etnográficos o sociológicos (por ejemplo Dumbrajs 2012)– y los aplicados a sociedades prehistóricas (por ejemplo: Shennan y Wilkinson 2001). No obstante cabe remarcar que todos ellos parten de las propuestas realizadas y testadas

matemáticamente por diferentes investigadores de la *University of California* (Cavalli-Sforza y Feldman 1973; 1981; Boyd y Richerson 1985).

3.3.2.1 *Rutas de transmisión*

En el trabajo pionero realizado por Cavalli-Sforza y Feldman (1981) quedaron definidas las principales rutas de transmisión cultural: vertical, horizontal y oblicua; aunque algunas de ellas reciben otra nomenclatura (Guglielmino et al. 1995, 7578) en relación a los actores que transmiten la información cultural.

3.3.2.1.1 Transmisión vertical.

Esta debe definirse como aquella en que la información fluye entre generaciones, es decir, cualquier meme cultural se transmite generación a generación. La transmisión vertical más conocida es la de padres a hijos y, como su nombre propio indica, consiste en una ruta donde la información cultural fluye de padres –uno de ellos o ambos– a hijos. Boyd y Richerson (1985, 63-64) argumentan que esta es la analogía de la transmisión vertical genética ya que su funcionamiento es el mismo, y muestra, las mismas características: 1) la información transmitida tiene una estructura estable; 2) los progenitores son una submuestra de la población; 3) cada uno de los padres puede presentar un rol diferente en el proceso de transmisión; 4) la frecuencia de los *memes* pueden ser diferentes en cada uno de los progenitores.

Cavalli-Sforza y Feldman (1981) remarcan otro tipo de transmisión vertical que consiste en la que se realiza a hijos adoptivos, ya que consideran importante matizar las diferencias biológicas entre ambas generaciones.

3.3.2.1.2 Transmisión oblicua.

Esta corresponde a una clase específica de transmisión vertical, es decir, la información fluye entre generaciones, pero los transmisores no son los progenitores del que recibe la información. Es decir, la información es transmitida por otros miembros de la generación parental (Mesoudi 2011, 58) Dentro de esta debemos diferenciar tres tipos de oblicuidad:

a) Transmisión oblicua clásica: Esta tiene lugar cuando la transmisión cultural es realizada por cualquier pariente de cualquier generación anterior y, dentro de esta, debe diferenciarse entre la información transmitida por la generación anterior –tíos– u otra más anciana –abuelos–. Con independencia de la generación que transmite la información ésta se conoce como transmisión oblicua intrafamiliar.

b) Transmisión oblicua [one-to-many]: Esta consiste en que el flujo de información se realiza de una sola persona a muchas. Este tipo de trasvase de información implica que la variabilidad cultural entre los individuos dentro del grupo es baja aunque la variabilidad intergrupala puede ser elevada. Un ejemplo de este tipo de transmisión es por ejemplo la información que reciben los alumnos de una clase por parte de su profesor.

c) Transmisión oblicua [many-to-one]: En este caso, como podemos intuir, el funcionamiento de la transmisión funciona a la inversa que el caso previo. Es decir, la transmisión se realiza de muchas personas a una y por consiguiente la variabilidad cultural dentro del grupo es casi nula. Este tipo de transmisión la podemos considerar como gerontocrática ya que el papel del flujo de la información recae en los miembros más viejos del grupo social.

3.3.2.1.3 Transmisión horizontal.

Debe definirse como aquella en que la información fluye entre individuos de la misma generación. Dicho de otro modo, esta tiene lugar cuando un individuo no necesita adquirir de una generación previa cualquier variante cultural (Boyd y Richerson 1985, 8), por lo que la información puede ser copiada de otros individuos que conforman la misma generación. Cavalli-Sforza y Feldman (1981), desde una perspectiva epidemiológica argumentan que la información cultural transmitida horizontalmente tiene una capacidad de “infección” mayor, y por extensión la rápida propagación implica que el cambio cultural puede ser rápido (Guglielmino et al. 1995, tabla 1; Mesoudi 2011, 60).

	Transmisión vertical [Padres a hijos]	Transmisión horizontal [Contagiosa]	Transmisión de uno a muchos	Transmisión concertada [Muchos a uno]
Transmisor	<i>Padres</i>	<i>Individuo</i>	<i>Profesor, líder etc...</i>	<i>Los mayores de un grupo</i>
Beneficiario mecanismo	<i>Hijos</i>	<i>Individuo (no)relacionado</i>	<i>Alumnos, ciudadanos etc...</i>	<i>Los más jóvenes del grupo</i>
Aceptación innovación	<i>Intermedia ó difícil</i>	<i>Fácil</i>	<i>Fácil</i>	<i>Muy complicada</i>
Variación individual respecto a la población	<i>Alta</i>	<i>Puede ser alta</i>	<i>Baja</i>	<i>Muy baja</i>
Variación entre grupos	<i>Alta</i>	<i>Puede ser alta</i>	<i>Puede ser alta</i>	<i>Muy pequeña</i>
Evolución cultural	<i>Lenta</i>	<i>Puede ser rápida</i>	<i>Muy rápida</i>	<i>Muy conservadora</i>

Tabla 3.1 Principales rutas de transmisión cultural y sus implicaciones básicas. Elaboración propia a partir de Shennan 2002, tabla 4.
Table 3.1 Main routes of cultural transmission and its basic implications. Compiled from Shennan 2002, table 4.

A modo de resumen en la siguiente tabla (3.1) se presentan las principales rutas de transmisión cultural y algunas de las implicaciones básicas.

Cabe decir que en un trabajo de recopilación sobre estudios etnográficos centrados en el aprendizaje de técnicas asociadas al arte ([Shennan y Steele 1999] citado en Shennan 2002, 49) se concluye que la ruta de transmisión cultural más repetida es la vertical y oblicua, aunque esta se realiza de una forma muy específica: transmisión entre el mismo género.

3.3.2.2 Mecanismos asociados a la evolución cultural

Previamente a detallar los diferentes procesos que influyen en la transmisión cultural debemos definir el propio concepto de evolución cultural. Nosotros creemos que la definición elaborada por Rogers y Ehrlich (2008, 3416) es esclarecedora. Estos investigadores consideran

como evolución cultural los cambios que se observan a lo largo del tiempo en la información no genética que poseen las sociedades y que están afectados por diferentes procesos o mecanismos. Algunos autores han realizado estudios comparativos entre aproximaciones biológicas y culturales concluyendo que ambas tienen la misma estructura (Mesoudi, Whiten, y Laland 2006, 346).

La transmisión cultural y la frecuencia de los caracteres culturales está influenciada por una serie de mecanismos, siendo la obra de referencia en torno a estos *Culture and evolutionary process* (Boyd y Richerson 1985). Aún así, la bibliografía se ha incrementado notablemente en los últimos años, siendo el trabajo de Henrich y McElreath (2003) un magnífico estado de la cuestión. Richerson y Boyd en su obra *Not genes alone* indican que los tres mecanismos que afectan a la distribución de las variantes culturales son la variación guiada, los sesgos en la transmisión y la selección natural (Richerson y Boyd 2005, 192).

3.3.2.2.1 La variación guiada.

El primer proceso que afecta a la evolución cultural es la llamada variación guiada o herencia Lamarckiana (Boyd y Richerson 1982, 329), mientras que en otras disciplinas como la antropología cognitiva recibe el nombre de atracción cultural ([Sperber 1996] citado en Mesoudi 2011, 228). No vamos a explicar la evolución lamarckiana, sino que argumentaremos por qué se plantea que la cultura se caracteriza por una variación guiada. Esta afirmación se basa en la idea que un individuo adquiere un meme de otro individuo modificándolo por su propio proceso de aprendizaje y es la información modificada por aprendizaje la que se transmite a otro agente de la población. La variación guiada ha sido modelada matemáticamente (Boyd y Richerson 1985, 95-97) llegando a la conclusión que cualquier población tiende a los comportamientos que se ven favorecidos por el aprendizaje individual. En otras palabras, cualquier variación cultural es adaptativa así que debemos concluir que la evolución cultural es un proceso directo y no ciego. Esta idea también ha sido planteada por Cavalli-Sforza y Feldman (1981, 66) debido a que la evolución cultural se basa en la premisa de la innovación dirigida, es decir detrás de cada mutación de determinado meme existe una intencionalidad.

3.3.2.2.2 Selección cultural.

Esta es considerada como una fuerza de selección que actúa de forma paralela a la selección natural y debe entenderse como la presión que realizan los humanos sobre determinados rasgos culturales. En otras palabras, se concibe como la analogía de la selección natural ya que actúa si existen individuos que presentan ciertos *memes* más atractivos que otros para adoptarlos y, por consiguiente, se produce una selección cultural dirigida (Shennan 2011b, 1070).

Una vez definida la variación guiada y la selección cultural, creemos oportuno remarcar las diferencias entre ambos mecanismos ya que podemos incurrir en una asociación incorrecta

de conceptos. Cabe decir que ambos procesos son similares ya que ambos parten de la premisa del criterio de guía o intencionalidad (Boyd y Richerson 1985, 136). Estas no son excluyentes mutuamente puesto que la variación guiada consiste en la modificación del meme a partir del aprendizaje individual mientras que la selección cultural consiste en la elección intencionada de cualquier meme que existe en el conjunto de la población. De esta manera, no todos los individuos presentan los mismos mecanismos cognitivos, es decir, cada agente propone soluciones al problema según su proceso cognitivo y, por tanto, la variación del fenotipo se basa en la propia experiencia individual no afectando la selección cultural al meme en sí, sino a su frecuencia en la población.

Una vez diferenciados ambos mecanismos, pasamos a desarrollar los diferentes procesos que afectan a la selección cultural o transmisión sesgada (Boyd y Richerson 1985, 134). Los mismos investigadores diferencian dentro de ella tres grupos de procesos sesgo directo, sesgo dependiente de frecuencia y sesgo indirecto³³.

a) Sesgo directo o basado en el contenido: La transmisión cultural se basa en un sesgo de contenido cuando los individuos tienen una mayor probabilidad de recordar o aprender más unos *memes* que otros según su contenido (Richerson y Boyd 2005, 69). Estos investigadores establecen dos cuestiones fundamentales sobre la que se sustenta el sesgo directo.

a1) La primera de ellas hace hincapié en la selección cultural basada en la relación entre los costes y beneficios de un meme en relación a otros. Esta cuestión se ilustra perfectamente en el ejemplo de la adopción de las motos de nieve por parte de los cazadores Cree de Canadá³⁴ (Shennan 2002, 56). Esta comunidad nativa a mediados del siglo XX sustituyó paulatinamente el uso de las raquetas de nieve por las motos de nieve debido a que los beneficios en relación a los costes eran muy altos. En torno a la introducción de una innovación con éxito, como el caso expuesto en las líneas anteriores, esta debe presentar cinco características principales según E. Rogers (1983 [1962]): 1) ventaja sobre las tecnologías o prácticas existentes; 2) compatibilidad con las prácticas existentes; 3) simplicidad para ser adoptado de forma rápida y sin complicaciones; 4) innovación testable por los usuarios para decidir si es ventajoso; 5) Observable por otros individuos, implicando la fácil expansión.

a2) La segunda cuestión hace referencia a la capacidad de recordar algunos *memes* en relación a las propias características de la mente de cada individuo o bien debido a que provocan una reacción que permite recordarlos con mayor facilidad (Shennan 2008a, 77). Un primer ejemplo de esta cuestión lo encontramos en el trabajo de Washburn donde presenta un estudio experimental centrado en que diferentes alumnos replican obras de artes de varias culturas. La

33 El sesgo dependiente de la frecuencia y el sesgo indirecto o basado en el modelo, son aquellos que se agrupan en los llamados sesgo de contexto (Henrich y McElreath 2003).

34 El ejemplo de los Cree ha sido muy utilizado recientemente en la arqueología. Un magnífico estado de la cuestión y discusión en torno a éste puede consultarse en Boone y Smith 1998.

investigadora llega a la conclusión que la variación en la reproducción debe asociarse a tres factores: tiempo de exposición, asociaciones significativas y el conocimiento cultural de aquello que se está replicando (Washburn 2001). Un segundo ejemplo de la existencia de un sesgo de contenido puede asociarse a la creencia de fenómenos sobrenaturales y leyendas. El caso clásico que ilustra perfectamente la transmisión cultural de esta clase de hechos corresponde a la llamada *chica de la curva* (Bennet 2011). Esta leyenda urbana consiste en la aparición de una chica joven vestida de blanco a los conductores que transitan, a los que les pide que la lleven. Transcurrido un tiempo la chica desaparece del vehículo. En torno a los ejemplos de creencias sobrenaturales los antropólogos cognitivos sugieren que se transmiten debido a que son mínimamente contrarios a la intuición (Boyer 1994).

En definitiva, el sesgo de contenido emerge cuando hay una interacción entre la psicología humana y las señales asociadas al meme –idea, representación o conducta– (Henrich y McElreath 2003, 129).

b) Sesgo dependiente de la frecuencia: La transmisión cultural se basa en un sesgo de frecuencia cuando la adopción de cualquier meme se realiza a partir de la repetición de este en la población con independencia de sus características intrínsecas. En otras palabras, cualquier individuo se guía de la frecuencia de un rasgo en la población para decidir si lo adopta o no. Cabe decir que existen dos tipos de mecanismos de selección basado en el sesgo de dependencia: el sesgo conformista (Boyd y Richerson 1985; Henrich y Boyd 1998) y el anticonformista (Acerbi y Bentley 2014). A continuación pasamos a describir el funcionamiento de cada uno de ellos.

b1) Conformista: Este consiste en la tendencia desproporcionada a seleccionar el rasgo más común de la población más allá de la simple copia aleatoria (Boyd y Richerson 1985, 203). La transmisión cultural basada en un sesgo conformista implica que las poblaciones se caracterizan por presentar una distribución de *memes* basada en “*winner-takes-all*” (Mesoudi y Lycett 2009, 47) consistente en que los rasgos más populares dominan en una población. Por otro lado, varios investigadores argumentan que la transmisión conformista genera un proceso a escala poblacional donde se crean y se mantienen las fronteras entre los grupos y las diferencias culturales a lo largo del tiempo (Henrich y Boyd 1998, 231).

b2) Anticonformista: Este también se conoce como sesgo de rareza (Henrich y McElreath 2003, 129), y como puede intuirse consiste en lo contrario al sesgo conformista, es decir, se tiende a copiar aquello que no es común en la población. Mesoudi y Lycett (2009, 47) argumentan que la transmisión cultural basada en un sesgo anticonformista genera distribuciones “*humped*³⁵” donde los rasgos con frecuencias medias son favorecidos.

El funcionamiento de ambos mecanismos es simple, así que creemos oportuno ilustrarlo

35 Este concepto hace referencia a las distribuciones representadas por curvas o jorobas. La figura 2b del trabajo de Mesoudi y Lycett (2009:45) es un caso muy ilustrativo de esta clase de distribuciones.

con un ejemplo: nos encontramos preparados para cenar en un restaurante de un país lejano en el cual no es posible comunicarnos con el personal de servicio, así que para elegir nuestro menú observamos a nuestro alrededor y de los diez clientes que hay, siete de ellos están comiendo carne y los tres restantes toman una especie de sopa. ¿Como elegimos nuestro menú? Como han remarcado Richerson y Boyd (2005, 120) copiar lo más común es mejor que realizarlo al azar, así que: 1) Si nuestra elección se basa en un mecanismo de conformidad tenemos una probabilidad mayor del 0.7 de seleccionar el plato de carne frente a la probabilidad inferior del 0.3 de seleccionar la sopa. 2) Si, por lo contrario, nos basamos en un mecanismo de rareza nuestra probabilidad de elegir la sopa sería superior, es decir tenemos una probabilidad mayor del 0.7 de elegir la sopa para cenar. La diferencia entre la copia aleatoria y el sesgo de frecuencia reside en que, si nuestra selección del menú se basara en la aleatoriedad tendríamos una probabilidad del 70% de elegir carne y por consiguiente un 30% de cenar sopa. Dicho de otro modo, la probabilidad de copiar cualquier rasgo cultural es proporcional a la frecuencia del rasgo (Crema et al. 2014, 162). La copia aleatoria de los rasgos genera distribuciones diferentes a la conformista y la anticonformista ya que por norma este sesgo aleatorio no tiende a modificar las frecuencias de los *memes*.

c) Sesgo basado en el modelo o sesgo indirecto: La transmisión cultural basada en el modelo ocurre cuando el individuo adquiere un meme sin basarse en las cualidades intrínsecas pero sí en las características que este exhibe en el portador (Mesoudi 2011, 73). Así pues, una persona utiliza las características observables en el modelo como guía para decidir si se copia o no el meme³⁶. En este sentido Boyd y Richerson (1985, 243) distinguen tres clases de caracteres en los que se basa la decisión de copiar: 1) indicador de rasgo, donde los individuos observan una característica particular para decidir si se copia a otro individuo; 2) rasgo indirectamente sesgado, donde el valor individual de un rasgo puede afectar a su importancia en la transmisión cultural de otros caracteres y 3) rasgo preferente, donde los individuos deben tener algún criterio –es mejor– para determinar el valor del rasgo que es preferible copiar.

Existen numerosos sesgos basados en modelos aunque los más citados en la literatura son: sesgo de prestigio, sesgo de similitud, sesgo de edad y sesgo de éxito. La idea es simple, cuando un individuo copia un meme de otro con prestigio espera tener una oportunidad para ser él también una persona con prestigio. Por ejemplo, si un niño quiere ser un gran futbolista, entonces copiar el estilo de juego de Messi posiblemente es una buena estrategia a seguir. Boyd y Richerson (1985, 241 y ss.) argumentan que a partir de la formulación de modelos matemáticos se debe tener en cuenta qué indicadores de éxito se asocian a las características copiadas. Aplicado esto al ejemplo, algunos indicadores pueden tener una correlación alta con el estilo

36 La idea de Richerson y Boyd (2005, 120) de que copiar lo más común es mejor que realizarlo al azar puede explorarse en este tipo de sesgo, o sea, copiar lo más ventajoso es mejor que copiarlo al azar.

de juego mientras que otras pueden tener muy poca correlación. Por ejemplo, que Messi utilice botas de fútbol de color naranja tiene poca influencia en su estilo de juego. Así que, en numerosas ocasiones, hay mucha dificultad para establecer qué es aquello que hace a Messi un gran jugador por lo que muchos rasgos que no influyen en el éxito se copian también. Sin lugar a duda, este hecho explica por qué las marcas pagan a los deportistas para que lleven sus prendas: las personas en general siguen la regla *copiar lo que lleve Messi*, el sesgo de prestigio implica comprar aquello que lleva Messi.

3.3.2.2.3 Autoestop Cultural.

Un fenómeno muy interesante que se asocia a los sesgos de contexto es la aparición del llamado *hitchhike* (O'Brien y Lyman 2003b, 7) que, en síntesis, consiste en que la historia evolutiva de un rasgo neutral que está vinculado a un rasgo ventajoso se ve supeditada a la evolución del rasgo seleccionado sistemáticamente. La hipótesis del autoestop ha sido desarrollada en el campo de la genética, siendo el trabajo de N. Barton (2000) un magnífico ejemplo sobre el estado de la cuestión, y ha sido aplicada a cuestiones culturales principalmente por H. Whitehead (1998; 2002; 2005). Los trabajos realizados por este investigador le permiten acuñar el concepto de autoestop cultural como una forma de coevolución entre genes-cultura en el que la transmisión cultural y genética afecta a los genotipos, argumentando que este debe ser considerado cuando existe una innovación que tenga un efecto sustancial en la adaptación de la población y que se transmita ciegamente entre las generaciones (Whitehead 2005, 59).

En un trabajo reciente a partir de la modelización computacional en diferentes ambientes se ha argumentado que el autoestop cultural puede ser aplicado a la expansión de la agricultura: "*Demic flow raises the possibility that cultural, genetic and linguistic traits with no intrinsic advantage may hitchhike i.e spread with the advancing farmers*" (Ackland et al. 2007, 8714). Este trabajo plantea otra forma de enfocar la hipótesis del autoestop cultural: ya no es necesario plantearlo como una coevolución gen-cultura, sino que puede ser propuesto también como una coevolución cultura-cultura³⁷. Cabe decir que pueda existir la posibilidad que un meme ventajoso y un meme *hitchhike* rompan su ligamiento debido básicamente a dos fenómenos:

a) Que la población preexistente en el territorio adopte solo uno de los dos *memes*. Por ejemplo, durante la expansión del Neolítico, que las sociedades preexistentes adquieran solo los artefactos cerámicos ya que siguiendo las propuestas de E. Rogers en torno a la introducción de innovaciones, la elaboración de recipientes es mucho menos compleja que la

37 Nosotros en la presente tesis doctoral hemos decidido utilizar este planteamiento de la hipótesis del autoestop cultural, es decir, planteamos la coevolución cultura-cultura.

adopción de la agricultura. En este supuesto la relación entre meme ventajoso –agricultura– y meme neutral –cerámica– queda eliminada.

b) Que la difusión démica tenga una importancia secundaria. Siguiendo con el ejemplo anterior, en este caso la difusión principalmente del meme se transmitiría por las redes pre-existentes, así que el funcionamiento es el mismo. La innovación menos compleja es más fácil de adoptar, de manera que la relación directa entre rasgo neutral y el ventajoso desaparece.

En definitiva, la hipótesis cultural implica que junto al incremento de la frecuencia de un gen ventajoso se incrementa también la frecuencia de los genes neutros que están asociados.

3.3.2.2.4 Deriva Cultural.

En la biología este proceso recibe el nombre de deriva genética o modelo neutral y por definición se basa en que todos los alelos tienen la misma probabilidad de ser transmitidos a la siguiente generación. El concepto de *drift* lo planteó el neodarwinista Wright aunque la formulación del modelo neutral fue realizada por el biólogo japonés Kimura (1968). Numerosos investigadores han remarcado la importancia del proceso de deriva en poblaciones pequeñas, es decir, cuando el grupo es reducido la deriva crea grandes diferencias entre los diferentes genes o *memes*.

En el ámbito arqueológico el primero en plantear conceptualmente la deriva fue Binford en el año 1963 (Koerper y Stickel 1980, 465), aunque este en antropología fue planteado unos años antes³⁸.

La deriva cultural es el análogo de la deriva genética en la evolución cultural y afecta cuando los *memes* se copian al azar sin que los mecanismos de transmisión asociados a la selección cultural estén ausentes. Sin lugar a dudas el modelo neutral ha sido utilizado en numerosos trabajos desde que Cavalli-Sforza y Feldman (1981) lo aplicaran a las cuestiones culturales y realizaran un repaso a las aplicaciones de la deriva cultural, por lo que resultaría un trabajo inabarcable exponer aquí los casos en que ha sido empleado. No obstante, comentaremos un par de aplicaciones. Por ejemplo se ha simulado el modelo neutral aplicado a la evolución de las variables culturales (Neiman 1995; Shennan y Wilkinson 2001; Kandler y Shennan 2013), donde resultan muy interesantes los resultados obtenidos por los diferentes trabajos. Mientras Neiman argumenta que el modelo neutral permite explicar la evolución de la decoración cerámica, los dos trabajos de Shennan y colaboradores argumentan que el modelo neutral no puede explicar la evolución de los patrones decorativos sino que se deben tener presentes otras fuerzas que actúan (Kandler y Shennan 2013, 25). Finalmente, en otro trabajo se estudia la influencia del modelo neutral en la utilización de las palabras clave en

38 Para una revisión exhaustiva del concepto aplicado a las ciencias humanas consúltese la obra de Koerper y Stickel (1980).

los artículos científicos (Bentley 2008). Este investigador argumenta que las *keywords* evolucionan a partir del modelo neutral y especifica que numerosos campos académicos se caracterizan por presentar un grado elevado de deriva (Bentley 2008, e3057-6).

3.3.3 *Críticas a la Arqueología evolutiva desde la Arqueología evolutiva*

Las críticas que se han vertido sobre la arqueología evolutiva provienen de la misma arqueología evolutiva. Esta cuestión puede resultar, en principio, incongruente ya que ¿cómo puede ser que se critique una teoría desde la misma teoría? La respuesta es simple, las críticas corresponden a las matizaciones que se realizan entre las perspectivas que utilizan la teoría de la evolución como base, con la excepción de algún trabajo específico que señala la necesidad de explorar las ramificaciones evolutivas y la teoría de la evolución puntual (Rosenberg 1994, 333). Con todo ello pensamos que resulta innecesario presentar todas las críticas y contrarreplicas realizadas por cada una de las escuelas ya que estas pueden ser rastreadas en la bibliografía sin apenas dificultad, (Rosenberg 1990; Dunnell 1995; Bettinger, Boyd, y Richerson 1996; Boone y Smith 1998; O'Brien y Lyman 2002a; Richerson y Boyd 2008; Schiffer 2011). Entre las citadas destacamos la realizada por Boone y Smith, debido a que el artículo presenta en la parte final una serie de comentarios realizados por diferentes investigadores que abarcan la totalidad de las escuelas evolutivas. Aunque la mayoría de ellos se postulan a favor, con matices, de las observaciones realizadas, algunos comentarios remarcan que el trabajo solo busca generar polémica y no remarcar en la complementariedad de las diferentes disciplinas ([Hunt, Madsen y Lipo p.159] en Boone y Smith 1998).

Nosotros somos partidarios de las observaciones realizadas por Hunt y colegas, es decir, debemos buscar la complementariedad tal como se ha expuesto al inicio del capítulo, puesto que solo la búsqueda de esta permitirá abordar el registro arqueológico con un enfoque evolucionista robusto. Así que a partir de nuestra postura de *reconciliación/complementariedad* hemos decidido realizar una tabla-resumen (tabla 3.2) donde se presentan las escuelas evolutivas³⁹ que han sido expuestas. Esta se ha elaborado a partir de la realizada por Smith (2000), y nos permite ver los puntos fuertes y débiles de cada enfoque evolutivo sin necesidad de recopilar todas las críticas asociadas a cada escuela.

3.3.4 *Posicionamiento del presente trabajo*

Nosotros en el presente trabajo nos decantamos por la aplicación de los postulados asociados a la teoría de la herencia dual debido a que su aplicación en el ámbito arqueológico resulta de especial interés para investigar la coevolución entre gen-meme a una escala temporal amplia, aspecto también remarcado por los investigadores que promulgaron la teoría (Richerson y Boyd 2008, 302). Este posicionamiento teórico no implica que descartamos cualquier otro enfoque evolucionista –como hemos comentado en las líneas anteriores abogamos por la complementa-

	Arqueología Psicológica	HBE	Teoría de la doble herencia	Seleccionismo	Teoría del nicho cultural
Que explica	<i>Mecanismos psicológicos</i>	<i>Estrategias comportamiento</i>	<i>Evolución cultural</i>	<i>Variabilidad del registro</i>	<i>Construcción del nicho ecológico</i>
Principales limitaciones	<i>Cognición y genética</i>	<i>Ecología y material</i>	<i>Estructural y material</i>	<i>Selección natural</i>	<i>Ecología y cultural</i>
Escala temporal del cambio	<i>A largo plazo (Genética)</i>	<i>A corto plazo (Fenotipo)</i>	<i>A plazo medio (Cultural)</i>	<i>A plazo medio (Cultural)</i>	<i>A plazo medio (Cultural)</i>
Adaptación	<i>Baja</i>	<i>Alta</i>	<i>Intermedia</i>	<i>Intermedia</i>	<i>Intermedia</i>
Generación de la hipótesis	<i>Inferencia informal</i>	<i>Modelos óptimos</i>	<i>Modelos a escala poblacional</i>	<i>Modelos a escala poblacional</i>	<i>Modelos a escala poblacional</i>
Métodos de testeo de la hipótesis	<i>Experimentos en laboratorio</i>	<i>Observación etnográfica</i>	<i>Modelización computacional</i>	<i>Seriación, Cladística y Filogénesis</i>	<i>Modelización y Filogénesis</i>
Tópicos	<i>Apareamiento y diferencias de sexo</i>	<i>Estrategias de reproducción</i>	<i>Cooperación y maladaptación</i>	<i>Explicación de linajes y éxito replicativo</i>	<i>Cooperación</i>

Tabla 3.2 Características de las principales escuelas evolutivas.
Table 3.2 Characteristics of the main evolutionary schools.

riedad de la epistemología evolutiva— sino que creemos que para la problemática planteada la DIT resulta la más útil. En otras palabras, no estamos argumentado que sea la panacea teórica a nuestra investigación pero no compartimos la opinión publicada en los inicios de los 90 por Robert Dunnell (1992, 214) donde la tacha de desacertada e irrelevante.

Finalmente cabe decir que nosotros somos partidarios al igual que otros investigadores (Shennan 2002, 48) de utilizar el vocablo meme, aunque no compartimos la argumentación inicial de Dawkins —meme es un análogo de gen—, ya que refleja en general la idea principal: es un rasgo cultural que se hereda.

39 La teoría de la construcción del nicho presenta las mismas características que la teoría de la herencia dual. Solo se debe tener presente el concepto de herencia ecológica.

LA MODELIZACIÓN COMO MÉTODO

El ser humano observa fenómenos del mundo real y descubre patrones que se repiten. En muchos casos utiliza metodologías similares para predecir y entender el comportamiento de los fenómenos observados y el método utilizado es independiente del origen de estos. Este mecanismo se formaliza en el siglo XVII y se conoce hoy en día como Método científico (figura 4.1) y a pesar de las diferentes formas en que se puede aplicar, este consta en esencia de cuatro fases:

- a) La observación del fenómeno real.
- b) Formulación de hipótesis a partir de las enunciaciones realizadas así como de la experiencia del investigador –observador– en fenómenos similares.
- c) La experimentación para poner a prueba la hipótesis repitiendo las observaciones del fenómeno bajo condiciones cambiantes.
- d) Generación de la tesis que consolide la hipótesis de partida. En el caso de que los experimentos se centren en contra de este lo que obtenemos es una refutación de la misma.

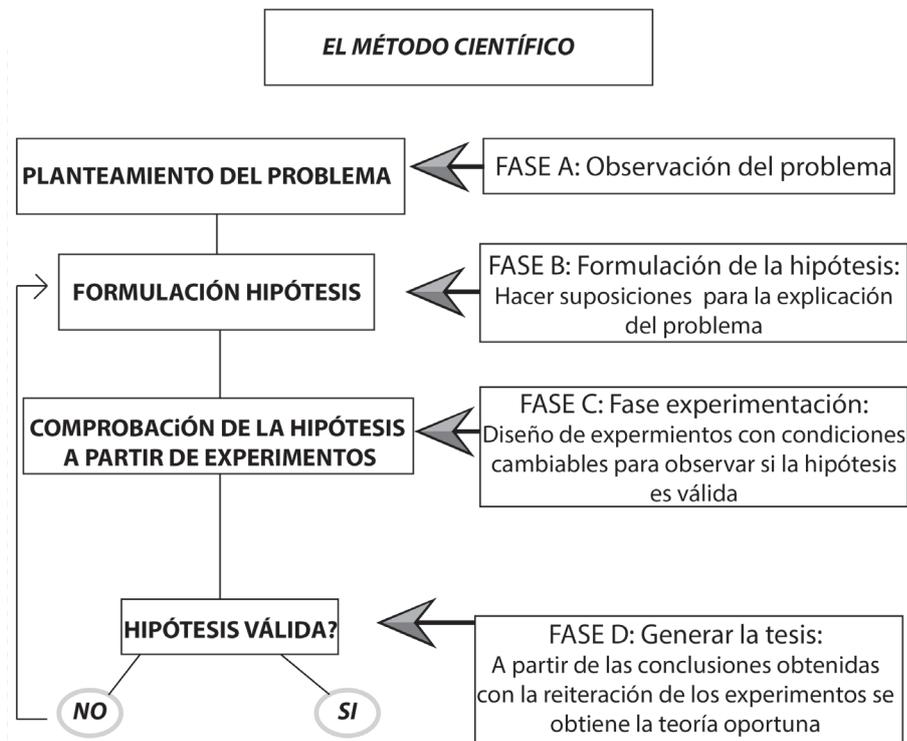


Figura 4.1 El método científico: proceso de investigación científica
 Figure 4.1 The scientific method: scientific research process

En este contexto los modelos se presentan como una proyección de la realidad que permite ser modificada, observada y medida sin afectar al proceso real que representa, dando información sobre la causa y el efecto de dichas realidades en el caso que estén bien construidos. En definitiva, un modelo a grandes rasgos lo definimos como una abstracción de la realidad que permite establecer un proceso de ilación sobre el funcionamiento del sistema o al menos de alguna parte de él.

4.1 ¿Por qué modelar⁴⁰?

La importancia de modelar en el ámbito arqueológico radica en dos cuestiones fundamentales: el registro arqueológico y la naturaleza de la teoría arqueológica (Francfort 1997, 152).

a) El registro arqueológico: las densidades del material arqueológico en numerosas ocasiones son más bien escuetas y por consiguiente, solo pueden ayudarnos a esbozar algunas dinámicas del pasado (McGlade y van der Leeuw 1997, 21). Junto al posible sesgo de la muestra arqueológica, ya que nunca tendremos el total del registro arqueológico debemos incorporar otra característica de los datos, su carácter estático. Ese hecho implica que los artefactos arqueológicos no reflejan las interacciones entre los objetos, lugares... y las personas, por lo que dichas relaciones solo se pueden observar de manera circunstancial (van der Leeuw 2004, 118), es decir, mediante la observación sistemática de determinados objetos en lugares específicos. Finalmente una tercera característica del registro arqueológico es nuestra capacidad de lectura debido a una problemática doble: en primer lugar el mismo proceso de recogida de los datos arqueológicos y en segundo lugar, las excavaciones arqueológicas (van der Leeuw 2004, 120). Por lo que atañe a la primera parte de la problemática, no hay duda que el proceso de recolección de datos tiene un matiz personal ya que es el investigador quien decide qué debe recoger a tenor de la importancia del material y la omisión involuntaria de determinados datos puede afectar a la lectura del registro y por consiguiente a la construcción de la teoría. Por otro lado las excavaciones arqueológicas, con independencia de sus costes –tiempo y dinero– implican que las teorías desarrolladas pueden ser contradichas con la excavación de un nuevo yacimiento.

b) La naturaleza de la teoría arqueológica: no hay duda que las interpretaciones arqueológicas están influenciadas por cuestiones subjetivas, en palabras de Gardin (1990, 29) por “intereses”, ya que cualquier investigador está influenciado por aspectos culturales, prejuicios políticos o tabúes sociales en el momento de interpretar el registro arqueológico (Shennan 1990, 90). Con todos estos problemas Francfort (1997, 154) reflexiona en torno a la necesidad de abstenerse de teorías interpretativas socio-culturales y realizar un viraje hacia la interpretación múltiple promulgada por Gally. Ésta se basa en la exploración de diferentes posibilidades interpretativas donde la validación sea posible.

Por otro lado, la equifinalidad propia de los Sistemas Complejos Adaptativos implica que debemos ser cautos en el momento de la formulación-aceptación de una teoría arqueológica, ya que quizás no estamos en disposición de poder diferenciar entre unas causas de otras similares y sus correspondientes efectos. En este mismo sentido, en torno a la aceptación de una teoría arqueológica, van der Leeuw (2004, 122) considera que esta se basa en tres aspectos fundamentales:

40 Hemos cogido prestado el título de este epígrafe de los trabajos de S. van der Leeuw 2004 y J. Epstein 2008 con idéntico título “*Why model?*”.

- 1-. Coherencia interna de la misma.
- 2-. Cantidad de datos disponibles y diversidad de casos que permiten corroborarla y/o tenerla.
- 3-. La experiencia y la reputación del investigador que formula la teoría. Así que podríamos decir parafraseando a cualquier arqueólogo de prestigio “*mi fe en cualquier explicación arqueológica es proporcional a mi fe en el arqueólogo que la ha propuesto*” (van der Leeuw 2004, 122).

4.1.1 Clases de Modelos

Como ya hemos comentado en la introducción del capítulo los modelos son representaciones simplificadas de la realidad específica estudiada y con independencia de la clase de modelo elegido, un modelo será aceptado si cumple dos requisitos básicos (Izquierdo et al. 2008, 101):

- 1-. Capturar la realidad estudiada, en esencia, facilitando el desarrollo del proceso de inferencia que no podría poderse aplicar si no existiese el modelo.
- 2-. Proporcionar conocimientos –resultados– que puedan extrapolarse a diversas situaciones.

A continuación presentamos las tres clases principales de modelos utilizados en el ámbito científico, los modelos verbales o narrativos, los analíticos y los computacionales.

a) ***Los modelos narrativos***: Este tipo de modelos son, en esencia, un discurso ordenado de una serie de eventos significativos para el investigador y también son conocidos como modelos no formales (Janssen 2010), aunque pueden ser formales. Estos se caracterizan por la coherencia ya que la “historia” narrada se articula sobre ella misma donde la importancia entre la relación de los elementos resulta primordial. Otra característica propia de los modelos narrativos es la (re)construcción personal y a pesar de que estos se basan en eventos secuenciados, el investigador decide que datos enfatizar o difuminar en su explicación. Por tanto, en la construcción de estos modelos existe siempre un matiz personal abierto a lecturas posteriores.

No obstante estos tienen un handicap que reside en la dificultad de ser probados. Por ejemplo, ¿Cómo podemos medir el papel que juegan las sociedades mesolíticas en la adopción del Neolítico en la península Ibérica? Es más, si en nuestro modelo narrativo aceptamos que la influencia de los grupos mesolíticos es mucha. ¿Cómo interpretamos o codificamos “mucha”? Con independencia de la problemática esta clase de modelos son los más comunes en ciencias sociales y en humanidades debido a la facilidad de elaboración y de comprensión. Con todo debemos ser conscientes que los modelos narrativos cuando se aplican a los Sistemas Complejos carecen del nivel formal necesario para valorar su coherencia (Izquierdo et al. 2008, 85), cuestión que sí existe en las otras clases de modelos.

b) ***Los modelos matemáticos***: Estos también son conocidos como modelos cuantitativos o modelos analíticos y son muy populares en las ciencias aplicadas. En esencia se caracterizan por la utilización de la formulación matemática para su elaboración –variables, parámetros,

relaciones—, es decir, su propia naturaliza implica la utilización de símbolos y reglas propias de las matemáticas para remarcar teoremas a partir de suposiciones o postulados. En definitiva, los modelos matemáticos son experimentos encaminados a la comprensión de las relaciones causales que impulsan importantes fenómenos naturales o culturales.

Estos modelos no son muy populares en las ciencias sociales y humanidades ya que son más difíciles de comprender por aquellos que no han considerado las ciencias *duras* su ámbito de estudio, incluso en algunas ocasiones también son complicados de entender por aquellos que han sido “entrenados” en las habilidades matemáticas (Boyd y Richerson 1985, 30). Este contratiempo no influye en que varios autores se postulen a favor de estos en relación a otros modelos, los computacionales, ya que la utilización de ecuaciones implica la recolección de pruebas y al ser un lenguaje formal está totalmente estandarizado. Por otro lado, la presencia de *bugs* es inexistente y por extensión los análisis de sensibilidad resultan mucho más fáciles de interpretar ya que pueden ser leídos directamente a partir de las ecuaciones y/o diversas técnicas analíticas (McElreath y Boyd 2007, 8–11)

c) ***Los modelos computacionales***: Estos modelos se construyen mediante ordenador y el software utilizado en su elaboración pretende representar algún aspecto concreto del mundo (García-Valdecasas 2011, 93). Dentro de estos existen dos subclases de modelos⁴¹: Los Modelos Basados en Agentes y los modelos dinámicos. Sin lugar a duda, hoy por hoy, han alcanzado un nivel de popularidad que era impensable cuando en la década de 1970 empezaron irrumpir en la bibliografía arqueológica (Wobst 2010).

1-. ***Modelos Basados en Agentes***: aunque serán abordados con más detalle en el apartado 4.3 del presente capítulo, estos se pueden definir siguiendo a Gilbert como un método informático que permite la construcción de modelos constituidos por agentes que interaccionan con el medio y entre sí para llevar a cabo experimentos virtuales (2008, 2).

2-. ***Modelos dinámicos***: estos se desarrollan dentro de la teoría de sistemas formulada para explicar y predecir el comportamiento evolutivo que exhibe el sistema a nivel macroscópico (Mitchell 2009, 15; Strogatz 1994, 2). Resultan muy útiles para la comprensión de la estructuración social y más en concreto para entender los procesos sociales desde una perspectiva no-lineal (McGlade y van der Leeuw 1997, 19).

Este tipo de modelos se conocen como *top-down* en nomenclatura anglosajona, o sea la modelización se realiza desde la comprensión del todo para investigar las partes. Debido a su característica arriba-abajo los componentes básicos del sistema no están representados, por norma, ni de forma explícita ni individual. La mayoría de los modelos dinámicos analizan las

41 Batty (2012, 28–29) establece 6 tipos de modelos computacionales: Los llamados Land use transportation interaction, Autómatas celulares, Modelos Basados en agentes, Modelos espaciales econométricos, Sistemas dinámicos y Modelos de microsimulación. No obstante cabe remarcar que este autor reflexiona en torno a los modelos computacionales que utilizan la variable geográfica, es decir, son modelos espaciales.

variables agregadas observables del sistema ya que son las relaciones de estas las que se modelizan en una escala superior (Parunak, Savit, y Riolo 1998, 20). Debido a la naturaleza propia de estos resulta sencillo representarlos mediante formulación matemática, y más en concreto mediante ecuaciones diferenciales (Quesada y Hassan 2012).

Finalmente dentro de los sistemas dinámicos debemos destacar los modelos de Autómatas Celulares. Estos constituyen una clase particular de sistemas dinámicos discretos sobre reticulados (Romero 2003, 62) y están regidos por una serie de características (Hegselman, Flanche, y Möller 2000, 152). Dichas celdas cambian su estado acorde con reglas locales y la regla de cambio de estado se aplica al total de las celdas. Además, el tiempo tiene una finalidad pragmática y por consiguiente este se representa de forma discreta. Finalmente la característica más interesante de los modelos Autómatas Celulares es que el estado de actualización en cada periodo de tiempo está íntimamente ligado al estado de las celdas vecinas —4 si no se consideran las celdas diagonales o 8 si estas se consideran—. Esta es la regla principal de los modelos autómatas, regla conocida como *regla de actualización de la celda* (Mitchell 2009, 148) y se aplica al conjunto de celdas. Entre los modelos autómatas el más conocido es el desarrollado por J. Conway en la década de 1970 y es conocido como “juego de la vida” (figura 4.2).

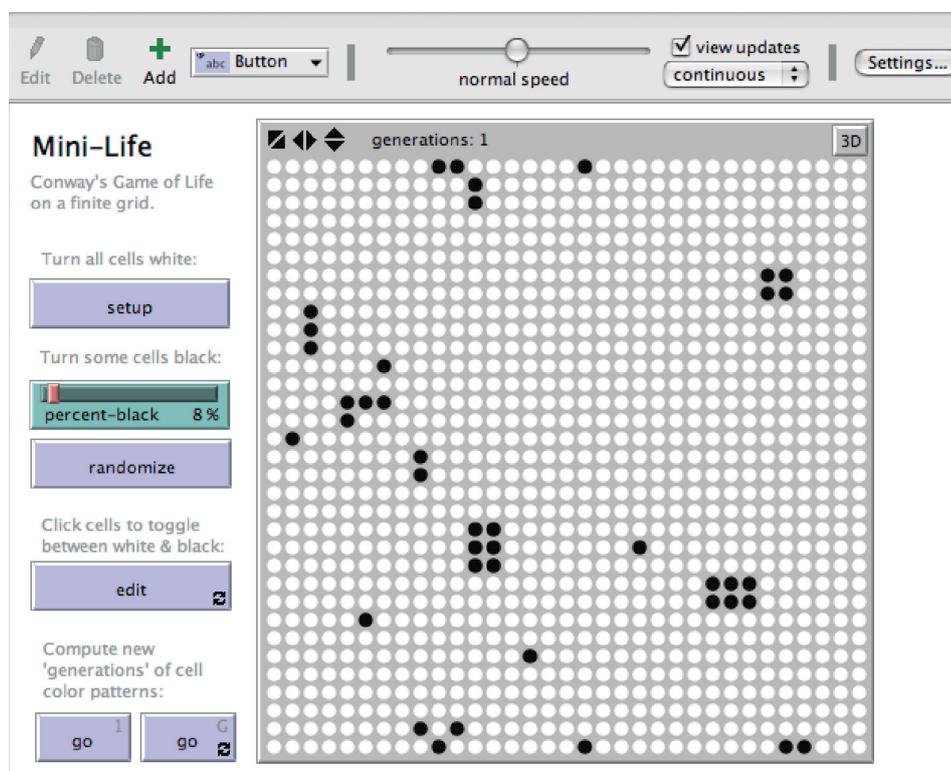


Figura 4.2 Interfaz del modelo “juego de la vida”^{42,}
 Figure 4.2 Interface for the model “game of life”^{42,}

42 Modelo desarrollado por Max Orhai para el curso Introduction to Complexity impartido por Santa Fe Institute dentro del programa MOOC.

Los modelos Automatas Celulares por definición se conciben sobre cuadrículas infinitas pero por limitaciones propias de la informática en el proceso de elaboración existen variaciones según el tipo de frontera que se elija y esta elección esta relacionada de forma directa con el problema que se pretende modelar.

3-. Modelos de redes: estos modelos han sido desarrollados en el ámbito de las matemáticas y la física, aunque en la actualidad se enmarcan dentro de la llamada ciencia de las redes complejas (Watts 2003). Este tipo de modelos se centran en la premisa que muchos sistemas pueden ser descritos mediante las redes complejas (San Miguel, Toral, y Eguíliz 2005). Los modelos de redes resultan muy útiles para investigar las relaciones entre los componentes de un sistema mediante el estudio de a red. Entre las numerosas aplicaciones de los modelos de redes cabe destacar aquellos diseñados en investigar aspectos relacionados con la difusión y expansión de innovaciones. Por ejemplo, esta clase de modelos son muy útiles para la comprensión de la formación de entidades culturales amplias así como su posterior fragmentación y tendencia hacia la coevolución (Lozano 2009). Nuevas aproximaciones como los modelos basados en agentes y modelos exponenciales para grafos aleatorios están dirigiéndose hacia modelos de redes dinámicas.

4.1.2 *Porqué Modelar*⁴³

A continuación desarrollaremos algunas de las razones principales por la que nos postulamos a favor de la utilización de los modelos formales en la disciplina arqueológica:

a) No hay duda que la arqueología es una disciplina pluridisciplinar y la utilización de los modelos formales puede convertirse en un “*punte entre disciplinas*” (Axelrod 2006) o “*gran acuerdo de préstamo interdisciplinar*” (Lansing 2002, 284) ya que estos permiten obtener un grado de abstracción suficiente, rigurosidad y detalle así como realismo para dirigir a los investigadores de diferente formación a centrarse en el mismos problemas de relaciones y de comportamiento (van der Leeuw 2004, 123). Este mismo autor justifica está capacidad de unión de los modelos formales a partir de su propia experiencia en diferentes proyectos donde la modelización fue el método utilizado para investigar cuestiones asociadas a las causas y consecuencias de la desertificación (*ib*: 125-127).

b) Otra característica, o ventaja, es la utilización de los modelos formales debido a su capacidad de medida. Es decir, volviendo al ejemplo del rol de las sociedades mesolíticas en la adopción del Neolítico en la península Ibérica, el empleo de los modelos formales nos permite establecer el rango de influencia con una precisión que no puede ser obtenida a partir de los modelos no formales.

c) La opción de selección de la escala temporal es una característica muy útil de los mo-

43 Para la obtención de un listado detallado de motivos consúltese Epstein (2008) y Maria (1997) entre otros.

delos computacionales. Es decir, la utilización de la modelización, y más en concreto, la simulación permite al investigador comprimir el tiempo del experimento para observar la aparición de un determinado fenómeno o bien se puede decantar por la ampliación de la escala temporal para observar el fenómeno en detalle (Maria 1997, 12).

d) La sociedades humanas deben ser consideradas como sistemas no-lineales ya que sus cambios pueden verse afectados por perturbaciones y presentar nuevas características –emergencia, auto-organización, etc...–. Esta naturaleza de los grupos humanos implica que debemos utilizar la “*metodología natural*” (Epstein y Axtell 1996, 158) para su estudio. No hay duda que la modelización mediante la formulación de modelos formales es la metodología natural para observar y comprender estas nuevas características.

A modo de conclusión, las humanidades en general y la arqueología en particular deben centrarse en la utilización de los modelos formales –ya sean analíticos o computacionales– frente a los modelos no formales –narrativos– ya que pueden ser utilizados para la iteración de los experimentos con las mismas condiciones iniciales. Son numerosos los autores que abogan por subrayar que la utilización de modelos computaciones no implica desechar los modelos matemáticos, ya que más bien son métodos complementarios (Boekhorst y Hemelrijk 2000) y pueden llegar a ser una herramienta híbrida muy poderosa (Epstein 1999, 49).

4.2 La simulación en arqueología: un recorrido historiográfico

La introducción de las aplicaciones informáticas en la investigación arqueológica *grosso modo* se puede situar en torno a la década de 1950. El primer trabajo centrado en la simulación *per se* corresponde a la obra de J. Doran *Systems theory, computer simulation and archaeology* donde se realiza un breve ensayo sobre la cibernética y su aplicación como herramienta útil para generar explicaciones del registro arqueológico (1970, 296–298). A partir de este momento y de forma sistemática se han elaborado diferentes obras de síntesis en torno al estado de la cuestión del binomio arqueología-simulación (Doran y Hodson 1975; Bell 1987; Mithen 1994; Lake 2001; McGlade 2005; Costopoulos 2010; Lake 2013).

Estos trabajos de compilación permiten rastrear la historia de la aplicación de la simulación en arqueología. Las revisiones historiográficas más recientes subdividen el uso de la modelización en cuatro etapas utilizando una denominación asociada a la popularidad de la aplicación de esta metodología en la investigación arqueológica (por ejemplo Lake 2013) mientras que otras disciplinas han establecido la nomenclatura de estas fases utilizando el ciclo vital –infancia, juventud, adolescencia y madurez– (Sinclair y Seligman 1996). Con independencia de la terminología utilizada para definir las fases estos trabajos concluyen que en la actualidad la simulación por ordenador ha adquirido una madurez metodológica al menos en algunos temas específicos (McGlade 2005, 555) remarcando que el pesimismo

existente en las primeras obras de síntesis sobre el futuro de las técnicas de simulación no se ha cumplido (Lake 2013).

4.2.1. *La fase pionera – finales de los 60 principios de los 80 –.*

La formulación de la Nueva Arqueología en la década de los sesenta (Binford 1962) supuso la aplicación del método hipotético-deductivo en el ámbito arqueológico mediante la aplicación del razonamiento matemático. Al mismo tiempo que los conceptos asociados a Teoría de Sistemas (von Bertalanffy 1951) tales como auto-regulación –homeostasis–, retroalimentación positiva o negativa, oscilación y equilibrio dinámico empiezan a tener un peso importante dentro del lenguaje arqueológico debido a su potencial (Doran 1970, 290). En este contexto sistémico, no exento de críticas (Flannery 1973, 51), y bajo “*la sombrilla cibernética*” aparecen las primeras modelizaciones computacionales centradas en aproximaciones para demostrar la utilidad de los métodos de simulación reflejando el positivismo no dogmático del procesualismo.

Esta primera fase, conocida también como la edad de oro de la simulación (Costopoulos 2010, 23), presenta una rápida diversificación y especialización de las temáticas tratadas mediante el método de la modelización y algunos autores han querido ver esta “madurez” en relación a la creencia del poder de la simulación para modelar todo el sistema (McGlade 2005, 564). Estos trabajos⁴⁴ se centran en análisis de patrones de asentamiento (Zimmerman 1977), cuestiones demográficas (Wobst 1974), subsistencia de los grupos de cazadores recolectores (Thomas 1972), estudios centrados en la comprensión de los mecanismos de comercio e intercambio (Hodder y Orton 1990)⁴⁵ así como las obras destinadas a la investigación de la irrupción y declive de civilizaciones (Cooke y Renfrew 1979).

El razonamiento sistémico y la modelización aplicados a la transición neolítica no están ausentes en esta primera edad de oro. En este sentido la tríada de trabajos publicados por Ammerman y Cavalli-Sforza (1971; 1973; 1979) suponen el origen y base de los trabajos posteriores. Estos autores sobre una simulación *random-walk* acoplan un modelo demográfico logístico produciendo un frente de propagación que llaman *wave of advance* (1971, 687). Otra característica interesante de estos trabajos es que realizan una comparación de los datos obtenidos mediante la simulación computacional⁴⁶ con las dataciones radiocarbónicas disponibles mediante la aplicación de la regresión lineal. Por otro lado Clarke (1972) también aplica un modelo de camino aleatorio –*random-walk*– para simular la propagación de los asentamientos neolíticos del LBK en torno a los suelos de loes. Clarke establece que el pro-

44 Véase la obra de Lake trends in archaeology para una lista detallada de bibliografía en torno a la diversificación del método del modelado.

45 La obra original fue publicada en el año 1976 bajo el título Spatial Analysis in Archaeology donde analizan cuestiones de intercambio/comercio aplicando la estadística utilizando diferentes ejemplos arqueológicos.

46 En su primer trabajo establecen que lo razonable es utilizar como punto de origen una área pero por cuestiones asociadas a la simulación utilizan orígenes individualizados (Ammerman y Cavalli-Sforza 1971, 676).

bable movimiento de los grupos neolíticos hacia el vecino más cercano ayuda a explicar la uniformidad de la cultura material.

4.2.2. Fase de aletargamiento – década de 1980 –.

Esta fase de letargo está en relación con el distanciamiento de la arqueología de cualquier paradigma científico (McGlade 2005, 572) ya que el pensamiento postprocesualista caracterizado por una gran diversidad de enfoques teóricos y planteamientos hizo que el razonamiento sistémico se desechara y como algunos autores establecen, el postprocesualismo jugó un papel muy importante en el abandono de las simulaciones computacionales (Costopoulos, Lake, y Gupta 2010, 2). También algunos pioneros en la utilización de la modelización reflexionan sobre las razones del fracaso de esta (Wobst 2010, 9–10). Finalmente se debe tener presente la influencia de Hodder y Renfrew en el declive del uso de las simulaciones. Estos aunque en la década de 1970 eran partidarios de la utilización de la modelización⁴⁷ su posicionamiento a favor de la aplicación de la hermenéutica en la arqueología ayudó a minar su uso.

Este “yugo” postprocesualista se observa claramente en el número de trabajos de simulación publicados a partir del año 1982 que según Lake suman menos de diez (2013). El hiato en el uso de las simulaciones también se observa en el estudio de la expansión de la agricultura. En esta década solo se publica el trabajo clásico de Ammerman y Cavalli-Sforza *The Neolithic Transition and the Genetics of population in Europe*⁴⁸ (1984) donde culminan la labor iniciada a principios de los años 70. Aunque ya plantean con anterioridad la posibilidad de interacciones entre los grupos mesolíticos y neolíticos (1973, 343) es esta última –la del 84– donde simulan diferentes escenarios remarcando que la principal cuestión es analizar la importancia relativa de los modelos de difusión –démico y cultural– en diferentes áreas del viejo continente (1984, 134–135).

4.2.3. La “renaixença” –los años 90–.

La década de 1990 debe ser considerada como los años del diseño de los métodos en arqueología (Aldenderfer 1998, 94) y entre ellos el resurgimiento de la simulación computacional (Lake 2001; McGlade 2005; Costopoulos y Lake 2010; Lake 2013). Esta emergencia de la modelización está en relación con la adopción por parte de la arqueología de nuevas visiones teóricas provenientes de la física como son la Teoría de la Complejidad y los Sistemas no Lineales (Feigenbaum 1980; Waldrop 1992). En este contexto aparecen dos trabajos fundamentales: *Thoughtful Foragers: a study of prehistoric decision makers* (Mithen 1990) y *Time,*

47 Consúltense *Simulations Studies in Archaeology* editada por Hodder (1978) y *Transformations: mathematical approaches to culture change* editada por Renfrew y Cooke (1979).

48 Aunque según uno de sus autores ésta vió tarde la luz debido a problemas profesionales (Ammerman 2002, 17), así que podemos concluir que su génesis está asociada a la primera expansión del uso de la simulación en arqueología aunque se publicase en la fase de letargo.

Process and Structured Transformations in Archaeology (van der Leeuw y McGlade 1997). Con independencia de la perspectiva utilizada ambas ayudaron a discutir el lugar y el rol de la modelización en la arqueología.

La primera de ellas presenta diferentes simulaciones donde se manifiesta a favor de comprender las interacciones locales y la toma de decisiones de los agentes concluyendo que las explicaciones globales son útiles cuando se entienden las elecciones y preferencias individuales (Mithen 1990, 257). La obra editada por van der Leeuw y McGlade se publica debido la intensificación de la batalla epistemológica e ideológica en el ámbito arqueológico, aunque el trasfondo de la misma es centrarse en cuestiones metodológicas (McGlade y van der Leeuw 1997, 1 y 20). Los autores argumentan que las aproximaciones a los sistemas dinámicos tienen una gran capacidad para contribuir al conocimiento de las sociedades estructuradas si se analizan los procesos sociales como fenómenos evolutivos no lineales (McGlade y van der Leeuw 1997, 17).

Entre los diferentes proyectos de simulación publicados en esta década, trece según Lake (2013), resulta interesante el trabajo de Zubrow por implementar en sus modelizaciones información sobre las rutas hacia el nuevo mundo entre 1492-1650, modelos epidémicos y algoritmos SIG para comprender la despoblación del continente americano (Zubrow 1997, 249).

En la década de 1990 se generaliza la utilización de los modelos matemáticos a partir de ecuaciones diferenciales aplicados a la dispersión de grupos humanos. En este contexto se publican diferentes trabajos donde la transición neolítica es el tema central. El primero de ellos (Cohen 1992) explica la propagación del Neolítico incorporando a la fórmula de reacción-difusión de Fisher la variable de advección en el movimiento de los grupos neolíticos, implicando una expansión desigual del frente de avance. Otro estudio que merece nuestra atención es el realizado por un grupo de investigación japonés (Aoki, Shida, y Shigesada 1996) en el que incorporan diferentes modelos de población a la fórmula de Fisher llegando a la conclusión que la distancia tiene implicaciones a escala genética entre los grupos neolíticos –véase Steele (2009, 133) para consultar algunas carencias del modelo–. Finalmente un par de estudios publicados a finales de los 90 concluyen que la incorporación del retardo a la fórmula de Fisher –*time delay*– implica la reducción de la velocidad del frente de avance de los grupos neolíticos (Fort y Méndez 1999a; 1999b).

4.2.4. La segunda edad de oro – desde la década de los 2000 hasta la actualidad –.

La consolidación de la Teoría de la Complejidad, la aplicación de los Sistemas Complejos Adaptativos (Bentley y Maschner 2003; 2008; Barton 2013a) y con la publicación en el 2000 de la obra *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent Based Modeling of Social and Spatial Processes* (Kohler y Gumerman 2000) se inicia la segunda edad de oro de la simulación. Hasta la fecha los trabajos, con alguna excepción (Kohler 1993; Doran et al. 1994), se basaban en el enfoque dinámico –*top-down*– pero la publicación de *Growing Artificial Societies: Social*

Science from the Bottom up (Epstein y Axtell 1996) tuvo un impacto en el ámbito arqueológico siendo la obra editada por Kohler y Gumerman el primer ejemplo. Esta resulta interesante por tres cuestiones fundamentales: a) es el primer compendio de trabajos con aplicación de los Sistemas Complejos Adaptativos; b) marca la mayoría de edad de los Modelos Basados en Agentes (McGlade 2005, 581); c) es un manifiesto para volver a juntar otra vez las ciencias sociales (Kohler 2000, 14), es decir, reconciliar las posturas entre el pensamiento procesualista y el postprocesualista.

Analizando la bibliografía publicada a partir del año 2000 estamos en disposición de remarcar la popularidad creciente de diferentes trasfondos teóricos dentro del binomio arqueología-simulación; no solo incrementando el número de trabajos centrados en la modelización *per se* sino también por la publicación de manuales específicos sobre simulación (Railsback y Grimm 2012).

En primer lugar la consolidación de las modelizaciones dinámicas aplicadas a la expansión de grupos humanos en diferentes contextos y cronología –analizados en un trabajo reciente (Steele 2009)– a partir de la adición de variables a la fórmula de reacción-difusión de Fisher-Skellam-KPP. Otro gran bloque temático abordado, en este caso mediante la simulación basada en agentes, son los cambios a largo plazo ya sea para comprender la evolución del patrón de asentamiento –escala macro-espacial– (Kohler y Varien 2012) o bien la programación de modelos a escala micro-espacial para la modelización de la evolución de las dinámicas socioecológicas (Barton, Ullah, y Bergin 2010).

En tercer lugar, y sin duda el contexto teórico con más proyectos de simulación publicados en los últimos años corresponde a la teoría evolutiva. Entre estos cabe destacar las diferentes temáticas centradas en torno a la evolución humana (por ejemplo Barton y Riel-Salvatore 2012) y aquellas que atañen a la transmisión cultural (Shennan y Wilkinson 2001; Conolly, Colledge, y Shennan 2008). Mayoritariamente las aproximaciones se han realizado a partir de la modelización basada en agentes aunque también existen trabajos donde el modelo matemático es la base (McElreath y Boyd 2007; Fort 2012).

Últimamente otras líneas metodológicas empiezan a tener peso bibliográfico dentro del ámbito de la simulación. Por un lado destacamos los trabajos donde la teoría de redes complejas se aplica para analizar diferentes dinámicas, por ejemplo cuestiones culturales (Mills et al. 2013) o aquellas centradas en torno al surgimiento y declive de las jefaturas (Cegielski en prensa). Por otro lado remarcamos las diferentes aproximaciones centradas en la investigación de procesos tafonómicos, postdeposicionales y distribuciones de frecuencia del material arqueológico (Surovell y Brantingham 2007; Rubio-Campillo, Cela, y Hernández Cardona 2012) Finalmente cabe destacar la modelización mediante la estadística bayesiana aplicada a cuestiones cronológicas y culturales (Bayliss et al. 2007; Ortman, Varien, y Gripp 2007; Crema et al. 2014).

La expansión del uso de la simulación así como la diversificación temática también tiene su repercusión en los estudios que atañen a la expansión de las primeras sociedades agrícolas y ganaderas. La modelización dinámica de la propagación del Neolítico sigue teniendo un peso importante dentro de la bibliografía publicada en esta etapa. Lake en su trabajo de revisión historiográfico más reciente (2013) contabiliza un total de nueve. Estos pueden ser agrupados por temática; en primer lugar aquellos que implementan a la fórmula de reacción-difusión de Fisher en ambientes heterogéneos, ya sea mediante la adición de la advección (Davison et al. 2006; 2007; 2009) o fronteras (Fort, Pujol, y Vander Linden 2012). Todos estos trabajos establecen que la simulación de escenarios con condiciones diversas implica un avance desigual de los grupos de agricultores. La mayoría de las investigaciones comparan los resultados de la modelización con las dataciones radiocarbónicas aunque muchos de ellos no analizan de forma crítica la información radiométrica. Por otro lado, en los últimos años también las simulaciones dinámicas se han centrado en cuestiones relacionadas con la evolución cultural mediante la aplicación de algoritmos genéticos (Ackland et al. 2007; Pérez-Losada y Fort 2011) y mecanismos de transmisión (Fort 2012). Bajo nuestro punto de vista estos trabajos necesitan corroborar las hipótesis obtenidas en la modelización con la información arqueológica. También destacamos una simulación centrada en la expansión del Neolítico en la península Ibérica (Isern et al. 2014) donde se compara los resultados obtenidos con la interpolación de los sitios arqueológicos mediante un SIG y los valores arrojados en la modelización de la fórmula de reacción-difusión de Fisher. La principal conclusión que establecen en este trabajo es que los datos arqueológicos disponibles, hasta la fecha, y los resultados de la simulación indican que el escenario de una doble entrada del Neolítico en la península Ibérica es factible. En esta misma línea estamos trabajando nosotros, y más en concreto en la elaboración de un Modelo Basado en Agentes diseñado para la comprensión de la expansión del Neolítico en Iberia (Bernabeu et al. 2015; Pardo Gordó et al. en prensa).

Otro trabajo interesante es la simulación de la expansión del Neolítico mediante un modelo autómatas celular (Parisi et al. 2008). Estos, los investigadores, utilizan celdas de 70 km² y cada una de ellas tiene una capacidad de carga calculada a partir de diferentes variables (2008, 197). Otra característica interesante es que implementan la navegación llegando a la conclusión que este parámetro influye directamente en los resultados de la modelización (2008, 203).

Para finalizar destacamos una aproximación centrada en el análisis de las dinámicas socioeconómicas así como las interacciones entre los grupos humanos y el medioambiente a escala microregional mediante la simulación mixta, es decir, la utilización de un Modelo Basado en Agentes y un modelo SIG (Ullah y Bergin 2012). En esta investigación se modelizan diferentes variables asociadas a los agentes –ABM– y al ambiente –SIG– estableciendo que los cuatro escenarios obtenidos en las simulaciones son potencialmente reales (2012, 171).

4.3 Los Modelos Basados en Agentes

Como hemos esbozado en la introducción del presente capítulo, los Modelos Basados en Agentes o modelización microscópica (Bonabeau 2002, 7280) –a partir de ahora ABM⁴⁹– forman parte de la Ciencia Computacional. Esta puede ser definida como el estudio sistemático de los procesos algorítmicos que describen y transforman información: teoría, diseño, eficacia, implementación y aplicación (Denning et al. 1989, 12). Los sistemas multiagente⁵⁰ –dónde se engloban los ABM– presentan su eclosión definitiva en la década de 1980 como una subdisciplina de la Ciencia Computacional. Sin embargo, estos tradicionalmente se han considerado como parte de una de las tres grandes ramas de la computación: la Inteligencia Artificial Distribuida –DAI, *Distributed Artificial Intelligence*– siendo las otras dos grandes áreas, la Resolución Distribuidas de Problemas –DPS, *Distributed Problem Solving*– y la Inteligencia Artificial Paralela –PAI, *Parallel Artificial Intelligence*– (Nwana 1996).

4.3.1 Definición y características de los Modelos Basados en Agentes

4.3.1.1 Qué es un agente?

Antes de definir que es un Modelo Basado en Agentes y sus rasgos principales debemos centrarnos en un término previo y no menos importante: la noción de “*agente*”. El número de definiciones de este concepto es proporcional al número de publicaciones disponibles. Aunque, en este sentido algunos investigadores destacan que todas las definiciones tienden a tener más puntos de encuentro que de desencuentros (Macal y North 2005, 2; 2009, 87).

Son numerosos autores los que definen un agente como un software y/o hardware que es capaz de actuar exigentemente con el fin de llevar a cabo tareas en nombre de su usuario (Nwana 1996), es decir, los agentes presentan un comportamiento autónomo flexible para conseguir unos objetivos propios (Wooldridge y Jennings 1995, 116). Sin embargo, existen definiciones de agentes acordes al contexto de su aplicación, por ejemplo en los sistemas distribuidos de producción estos se consideran como un software que comunica y coopera con otros para resolver problemas que están más allá de las posibilidades de resolución de cada agente de manera individual (Shen et al. 2006, 417). Mientras que en el contexto de las Ciencias Sociales, estos deben ser considerados como la gente de las sociedades artificiales y están caracterizados por reglas de comportamiento y estados internos, que pueden ser fijos o cambiantes debido a las interacciones con otros agentes o con el medio ambiente (Epstein y Axtell 1996, 4). Con independencia de la definición estos deben presentar una serie de características⁵¹:

49 Nos decantamos por la utilización del acrónimo anglosajón ABM –Agent-Based Model– ya que su presencia en la literatura es mucho más abundante y, por extensión, más fácil de reconocer.

50 La construcción de sistemas multiagente aplicados a las sociedades humanas se conoce desde la década de 1990 como modelos de “Sociedades Artificiales” (Builder y Bankes 1991, 19).

51 Las características presentadas en las líneas anteriores son algunas de las más relevantes, sin embargo una exhaustiva de las propiedades que determinan a los agentes puede obtenerse con la consulta del trabajo de

a) *Autonomía*: los agentes son unidades autónomas capaces de procesar información mediante la toma de decisiones independientes. Es decir, los agentes tienen control sobre sus acciones y sus estados internos.

b) *Habilidad social*: los agentes como se ha visto en la característica anterior, son capaces de procesar información, pero también tienen la destreza de intercambiarla con otros agentes a partir de un lenguaje propio. Es decir, los agentes tienen la capacidad de interactuar y comunicarse no solo con otros agentes, sino también con el ambiente (Crooks y Heppenstall 2012, 87).

c) *Proactividad*: Los agentes en numerosas ocasiones exhiben un comportamiento para alcanzar los objetivos con respecto a sus comportamientos.

d) *Reactividad*: Los agentes pueden ser diseñados para percibir su entorno –conciencia– y responder en el tiempo a los cambios que ocurren en él.

e) *Movilidad*: Los agentes pueden ser móviles, es decir, estos pueden cambiar su relación espacial a lo largo del tiempo, ya que su reactividad les permite evaluar las configuraciones espaciales (O’Sullivan et al. 2012, 125).

f) *Aprendizaje-Adaptabilidad*: Los agentes pueden alterar su estado en relación a estados previos –memoria (Abdou, Hamill, y Gilbert 2012, 145)– permitiéndoles aprender y/o adaptarse a nivel poblacional o a nivel individual.

Con todo lo expuesto hasta el momento, estamos en disposición de definir el concepto agente como un software y/o hardware que presenta una autonomía para procesar e intercambiar información permitiéndole modificar su estado por adaptación y/o aprendizaje en relación a los objetivos individuales que persigue.

4.3.1.2 Modelos Basados en Agentes: Definición, propiedades y tipología

Expuesta la terminología podemos centrarnos en los Modelos Basados en Agentes. Por lo que respecta al concepto la dinámica es muy similar al término agente, en otras palabras, existen tantas definiciones como trabajos publicados. Con todo ello sería inútil exponerlas en su totalidad ya que estas tienden a ser muy homogéneas. Por lo tanto, nosotros nos decantamos por la utilización de la definición realizada por Railsback y Grimm (2012) en su libro *Agent-Based and Individual-Based Modeling: a practical introduction*. En esta obra los autores definen ABM como un modelo donde individuos o agentes que son entidades únicas y autónomas que difieren de otras entidades en el espacio y el tiempo y usualmente interactúan con otras entidades o con su ambiente de manera local (ib: 4 y 10). Si destripamos la definición, tres ideas fundamentales debemos tener en consideración; en primer lugar el carácter único que implica que cada agente –o grupo de ellos– es diferente de otros. Acto seguido debemos remarcar el carácter local de las interacciones, o sea, los agentes interactúan a partir del principio de vecindad y/o conec-

Wooldrige y Jennings (1995). Así como también una clasificación tipológica y taxonómica de los agentes a partir de las características que presentan (Nwana 1996; Franklin y Graesser 1997).

tividad. Finalmente la tercera cuestión que se debe destacar es el carácter autónomo de las entidades que forman el ABM, siendo esta autonomía la que permite a los agentes disponer de un comportamiento libre e independiente a partir de sus intereses, o sea, estos permiten aproximarnos al problema investigado desde una perspectiva de abajo-arriba *–Bottom-Up–*.

Este desglose del concepto Modelo Basado en Agentes, también, nos permite rastrear las principales características que poseen y, que del mismo modo, nos posibilita presentar algunas de las ventajas de la utilización de los ABM.

En primer lugar debemos destacar su capacidad de *lectura de nivel múltiple* *–across-level–*, puesto que son modelos que corresponden con dos niveles y sus respectivas interacciones. En otras palabras, los ABM pueden ser utilizados para la observación del comportamiento del sistema a raíz de las interacciones de las entidades que lo forman, o bien, examinar que ocurre con los individuos a partir del comportamiento del sistema (Railsback y Grimm 2012, 10). En la misma línea se encuentra Bonabeau que enmarca esta propiedad de lectura múltiple dentro de la *flexibilidad* de los ABM.

Otra característica a destacar es la capacidad de la modelización microscópica para *capturar el fenómeno emergente* resultante de las interacciones de las entidades individuales. En este mismo sentido E. Bonabeau (2002, 7280–7281) establece una lista de condiciones donde los ABM son realmente útiles para la captura del comportamiento emergente: 1) Descripción de comportamientos individuales caracterizados por la discontinuidad. 2) Cuando la topología que presentan las interacciones de los agentes es compleja y heterogénea, pudiendo generar *efecto de redes*. 3) El estado cambiante de los agentes, ya sea por adaptabilidad o aprendizaje. 4) Bajo ciertas condiciones las fluctuaciones pueden ser remarcadas: el sistema puede ser estable y lineal pero muy inestable a grandes perturbaciones.

La siguiente característica que debemos destacar es su capacidad de *proporcionar una descripción natural del sistema* cuando se investiga sistemas compuestos por entidades caracterizadas por disponer comportamiento. Para ilustrar esta propiedad, Bonabeau (2002, 7281) presenta algunos ejemplos donde la descripción del sistema desde el punto de vista de las actividades de sus unidades constituyentes es más natural destacando los siguientes: en primer lugar los casos donde el comportamiento de las entidades no puede ser definido de forma clara a través de los ratios de transición agregada y en segundo lugar, cuando el comportamiento individual es complejo.

Las siguientes propiedades que debemos destacar es en primer lugar el carácter *generativista* de los Modelos Basados en Agentes (Epstein y Axtell 1996; 1997; Epstein 1999). Esta reside en la obtención de una nueva visión explicativa, es decir, la utilización de sociedades artificiales permite “cultivar” estructuras sociales *in silico*⁵² demostrando que ciertos

52 Hecho por ordenador.

conjuntos de especificaciones mínimas son suficientes para **generar** el macro fenómeno que nos interesa (Epstein y Axtell 1996, 20). Y, en segundo lugar y relacionada directamente con el carácter generativo debemos destacar la característica de laboratorio virtual, lo que Epstein y Axtell llaman *Computerrarium* (ib 1996: 7). La idea del terrario computacional reside en la observación de los cambios –resultados– que se documentan en el sistema con la alteración de las reglas de comportamiento de los agentes y/o la modificación de las variables consideradas en la construcción del modelo. Respecto al laboratorio virtual existen algunos detractores (Leombruni 2002) que recalcan que la utilización de los ABM implica la realización de experimentos sobre el comportamiento de las entidades y no en el comportamiento en sí. No obstante, con independencia de la crítica con la que nos podemos postular a favor en parte, no hay duda que el poder subrayar comportamientos globales y observar como determinados parámetros pueden afectar ya es un avance realmente interesante.

Una vez presentadas las propiedades nos centraremos en los intentos de clasificación de los Modelos Basados en Agentes, y entre las diferentes tipologías (Axelrod 1997; Edmonds 2001; Axelrod y Tesfatsion 2006) cabe destacar en primer lugar la realizada por R. Axtell a partir del uso y la posibilidad de aplicación del análisis matemático como herramienta de estudio, así como las realizadas por D. O’Sullivan a partir del tipo de espacio –localización de los agentes– utilizado en la elaboración.

Por lo que respecta a la primera clasificación (Axtell 2000) se divide en tres grandes grupos de Modelos Basados en Agentes:

a) *Modelos de Agentes como simulación clásica*. Esta primera clase de ABM está en relación a su uso cuando los modelos matemáticos pueden ser formulados y resueltos completamente de forma simbólica o numérica. Esta aplicación de los ABM plantea una pregunta obvia: ¿por qué utilizarlos si la álgebra soluciona la problemática analizada?. En este sentido Axtell plantea una respuesta que se sustenta en tres posibles aplicaciones; 1) Utilización de los Modelos Basados en Agentes como método de verificación, o sea, la solución matemática debería ser consecuente con los resultados obtenidos del modelo de agentes. 2) Aplicación de los ABM puede ser válida cuando un modelo es estocástico, ya que la solución debe tener una cierta distribución de resultados. En este caso el Modelo Basado en Agente funcionaría como una clase de simulación Monte Carlo. 3) estos pueden ser utilizados a modo de interfaz visual de los resultados matemáticos.

b) *Modelos de Agentes como complemento de la teoría matemática*. Esta segunda clase de ABM está en relación a su uso cuando la aplicación matemática no es capaz de solucionar de manera analítica ni completa un modelo, es decir, cuando los modelos son resueltos de forma parcial. Este uso de los Modelos Basados en agentes permite profundizar y completar las soluciones matemáticas desde diferentes perspectivas⁵³.

c) *Modelos de Agentes como sustitutos de los modelos analíticos*. Esta clase corresponde

a la utilización de los ABM cuando se trata con modelos inmanejables o sin solución. Esta clase de modelos se aplican cuando la manipulación analítica tiene poca utilidad, siendo posiblemente los Modelos Basados en Agentes la única herramienta metodológica disponible para el investigador.

Una vez conocida la clasificación de los ABM basada en sus uso, nos centramos en la segunda clasificación, aquella basada en cuestiones espaciales (O'Sullivan et al. 2012; O'Sullivan 2008) y, al igual que la clasificación de Axtell, también se divide en tres grandes grupos:

a) *Modelos de Agentes basado en mundo abstracto*. Estos corresponden a los ABM desarrollados en mundos abstractos y se centran en la explicación de las implicaciones colectivas a nivel de toma de decisiones individuales. Sin lugar a duda el principal trabajo en este tipo de modelos es el Sugarspace (Epstein y Axtell 1996).

b) *Modelos de Agentes basado en mundo localmente especificados*. Esta clase de modelos son aquellos que tiene un mayor grado de detalle en la localización de las entidades y dónde se representan solo las características del mundo real que interesan para la realización de la investigación. Por norma general, la aplicación de estos modelos se centra en las investigaciones del paisaje ecológico.

c) *Modelos de Agentes basado en "geografía detallada"*. Este tipo de modelos son principalmente realistas donde se representa la configuración geográfica y los procesos que desarrollan esa configuración. Esta tipología de modelos se han desarrollado en el ámbito económico, y más en concreto en la investigación asociada a la política de toma de decisiones.

4.3.2 La construcción de los ABM

En esta sección presentaremos los pasos que debemos seguir para la construcción de un Modelo Basado en Agentes y que están vinculados al llamado ciclo de la simulación pudiéndose representar como una rueda (figura 4.3).

Son numerosas las aproximaciones que se han realizado en torno a esta temática. Algunas de ellas destacan por presentar un planteamiento demasiado genérico, donde en algunos casos no hay una separación de funciones en algunas de las tareas (Fishwick 1995). Otras propuestas mejor estructuradas son aquellas que plantean de forma clara los diferentes aspectos desde la observación hasta la validación final del modelo con el sistema real estudiado (Gilbert y Troitzsch 1999). En la misma línea se encuentra el trabajo de Axelrod (1997), sin embargo este presenta la necesidad de la replicación, y por extensión, la necesidad de publicación del código

53 Axtell establece dentro de esta clase de AMB 7 subclases de modelos: 1) Modelos con equilibrio no computable en la práctica. 2) Modelos sin equilibrio implementados con agentes de racionalidad limitada. 3) Modelos con equilibrio asintótico. 4) Modelos con uno o varios equilibrios inestables. 5) Modelos dependientes a variables desconocidas. 6) Modelos con equilibrio conocido solo en las interacciones de las redes. 7) Modelos donde las fluctuaciones y eventos extremos son más importantes que el equilibrio.

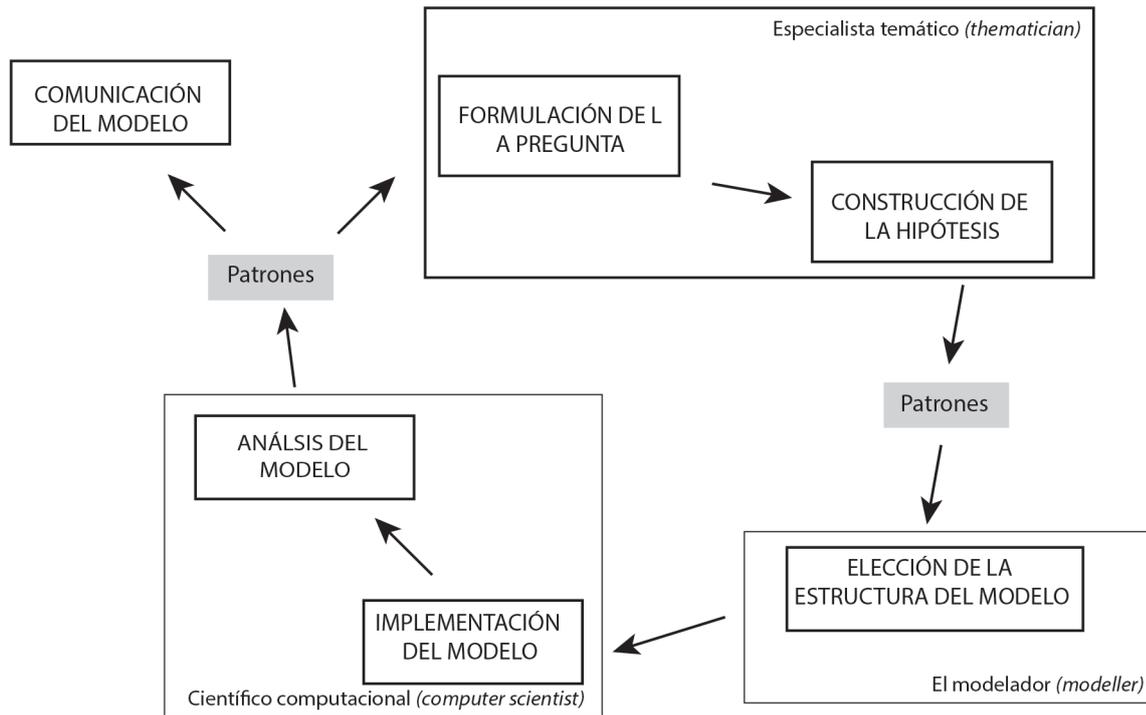


Figura 4.3 Ciclo del modelado basado en agentes
 Figure 4.3 Agent-based modeling cycle

fuelle utilizado para la implementación del modelo. Finalmente debemos destacar un par de propuestas; en primer lugar la realizada por Drogoul y colegas así como la desarrollada por Railsback y Grimm.

La primera de ellas se centra de forma específica en el modelado basado en roles (Drogoul, Vanbergue, y Meurisse 2003). La idea principal reside en la existencia de tres participantes en el proceso de diseño de un Modelo Basado en Agentes. El primer rol que establecen es el llamado *Thematician*, caracterizado por ser el experto en el tema específico que se quiere modelar –por ejemplo, un arqueólogo–. El objetivo del rol temático es producir el *modelo del dominio*, que contiene agentes y comportamientos a partir de las observaciones que ha llevado a cabo; no hay duda que el modelo elaborado por el experto temático se realizará utilizando el lenguaje propio del dominio. El segundo participante en la elaboración del modelo es el *Modeler*, siendo su objetivo principal la traducción del *modelo del dominio* en un lenguaje más formal para que el encargado de la implementación del modelo no tenga ningún problema. Finalmente el tercer y último rol corresponde al llamado *Computer Scientist*, siendo el encargado de escribir con lenguaje informático el modelo que le permita comunicarse con el *modeler*, en realidad este primer modelo, llamado *modelo operacional*, permite que los otros participantes del ciclo puedan comprender y cambiar alguna cuestión de aquello que va a implementarse. Cuando se ha llegado a un consenso el *Computer Scientist* también es el encargado de la implementación del *modelo operacional*.

La segunda propuesta que debemos destacar es la realizada por Railsback y Grimm (2012) ya que bajo nuestro punto de vista es la más completa de todas al abarcar en su totalidad el ciclo de modelado, estableciendo un total de 6 estadios en la elaboración de cualquier Modelo Basado en Agentes. El primer paso en la construcción de un ABM debe ser la *formulación de la pregunta*, ya que debe ser el punto de inicio en la formulación de cualquier modelo, por lo tanto, este debe ser enunciada de forma clara y concisa. No hay duda que la formulación de una pregunta complicada puede ser contraproducente en el momento de la elaboración del modelo, ya que la utilización de los sistemas complejos implica que en numerosas ocasiones las preguntas que nos planteamos son básicamente experimentales y por consiguiente, en modo que evoluciona nuestro modelo la pregunta debe ser reformulada debido a que puede ser demasiado simple o por lo contrario, demasiado compleja (Railsback y Grimm 2012, 8).

El segundo paso del ciclo del modelado es la *elaboración de estructuras y procesos esenciales a partir de la hipótesis*. En este estadio de la elaboración del modelo por norma se formulan múltiples hipótesis para la pregunta que nos hemos planteado, o sea, en este apartado puede ser elaborado mediante una lluvia de ideas, y una vez elegidas aquellas que se consideran esenciales debemos situarlas en la llamada *lista de deseos* (Railsback y Grimm 2012, 8) y con el paso del tiempo debemos ir chequeándola ya que en numerosas ocasiones en el inicio de la elaboración de nuestro modelo no comprendemos en su totalidad el sistema que deseamos analizar.

El tercer paso es la *elección de las variables, escala, procesos y parámetros*, esto es, la parte del modelo que debe ser pensada más concienzudamente pues en este estadio cuando se debe formular el modelo. En este momento es cuando debe escribirse el *Overview, Design concepts and Details*⁵⁴ (Grimm et al. 2006; 2010; Polhill et al. 2008; Polhill 2010) –a partir de ahora ODD–. Este consiste en escribir en lenguaje natural un protocolo de cómo ha sido diseñado el modelo y se debe elaborar para todos los ABM sea cual sea su dominio, complejidad e implementación (Grimm y Railsback 2012, 363). Este documento está organizado en tres grandes bloques con sus correspondientes apartados. El primero de ellos corresponde a la visión de conjunto, siendo el segundo aquel destinado a la llamada *conceptualización de diseño* y la tercera parte, y última, del protocolo ODD es la asociada a los detalles del modelo. En la siguiente tabla resumen (tabla 4.1) se presentan los apartados y las implicaciones de cada uno de los apartados del protocolo.

El cuarto estadio del ciclo corresponde a la implementación que básicamente consiste en convertir nuestro modelo formulado en lenguaje verbal a lenguaje formal, por lo tanto, es aquí donde se debe elegir la plataforma y lenguaje con el que deseamos realizar la implementación.

El siguiente paso corresponde a la parte más costosa del proceso de modelado, es decir, el momento de *analizar, testar y revisar el modelo*. A continuación desarrollaremos aquellos

54 Visión general, conceptos y detalles

	ELEMENTOS DEL PROTOCOLO ODD	PREGUNTAS QUE CONTESTA
VISIÓN DE CONJUNTO	Propósito	El propósito del modelo
	Entidades, estado de las variables y escalas	Tipo de entidades, su estado y características. Escala temporal y espacial
	Visión general del proceso y programación	Como actúan las variables, su orden y cuando se actualizan. El tiempo en el modelo: discreto <i>versus</i> continuo.
CONCEPTOS DEL DISEÑO	Diseño de los conceptos	La importancia de los conceptos en el modelo
	<i>Emergencia</i>	Resultados claves asociados a la emergencia a partir de la conducta de los agentes. Si existen resultados vinculados a las normas programadas
	<i>Adaptación</i>	Toma de decisión y cambio de comportamiento de los agentes. Como han sido modelados los comportamientos (Objetivos directos o indirectos)
	<i>Objetivos</i>	Si el comportamiento de adaptación se representa como la búsqueda explícita del objetivo, cuál es éste y como se mide.
	<i>Aprendizaje</i>	Si existe cambio de comportamiento a través de su experiencia, como se realiza éste
	<i>Predicción</i>	Modelos internos utilizados para la estimación de las consecuencias de las estimaciones futuras de los agentes. Las predicciones implicadas en éstos.
	<i>Percepción</i>	Información detectada por los agentes para la toma de decisiones. Como conocen ésta (información dada o modelada explícitamente)
	<i>Interacción</i>	Tipología de las interacciones de los agentes. Éstas son directas o indirectas. Cómo son las interacciones de los agentes con su ambiente
	<i>Estocasticidad</i>	Existen procesos al azar. Éstos se utilizan para representar variabilidad de forma sencilla o para producir hechos con una frecuencia determinada
	<i>Colectividades</i>	Existencia de agregación de agentes que afectan y son afectados. colectividad esta representada como emergencia o es una entidad programada
<i>Observación</i>	Patrones y datos observados para los tests, la comprensión y los análisis. Como se guardan	
DETALLES	Inicialización	Estado del modelo al inicio de la simulación (tiempo = 0)
	Introducción de datos	El modelo presenta datos externos (archivos ráster...) u otros modelos que representan los procesos que cambian con el tiempo.
	Submodelos	Detallar los submodelos (si existen). Su parametrización, dimensiones y valores de referencia.

Tabla 4.1 Resumen de los principales apartados del ODD. Elaboración a partir de Grimm y Railsback 2012 (tabla 17.1) y Railsback y Grimm 2012 (figura 3.1)
 Table 4.1 Summary of the main sections of ODD. Compiled from Grimm and Railsback 2012 (table 17.1) and Railsback and Grimm 2012 (figure 3.1)

análisis que debemos realizar en esta parte del ciclo de modelado, ya que son de primordial importancia para una elaboración correcta de cualquier ABM. Dentro de este estadio del ciclo del modelado debe realizarse un proceso de verificación o validación interna (Drogoul, Vanbergue, y Meurisse 2003) que consiste en determinar si el modelo funciona en concordancia con el propósito que ha sido diseñado. Este paso está relacionado con la programación *per se*; en primer lugar debe verificarse la parte del lenguaje informático para comprobar que no existen errores de sintaxis y por otro lado, como hemos comentado con anterioridad, que el ABM se comporte acorde a su diseño (Abdou, Hamill, y Gilbert 2012).

Una vez verificada la programación y el modelo debe realizarse los llamados tests de sensibilidad que consisten en realizar experimentos modificando las condiciones iniciales del modelo para observar los resultados del mismo. La importancia de estos tests reside en que nos pueden permitir seleccionar los parámetros que tendrán más incidencia en la simulación ayudándonos en la posterior calibración del modelo (Ngo y See 2012, 186). La literatura en torno a los test de sensibilidad se ha incrementado en los últimos años llegando a la conclusión que para la realización de estos se deben realizar de manera sistemática mediante la aplicación de técnicas estadísticas asociadas al diseño de los experimentos (Kleijnen et al. 2003; 2005).

A continuación debemos realizar el de calibración que consiste en ajustar el modelo mediante la identificación de los parámetros adecuados con la finalidad de ajustarlo con los datos o teorías disponibles. Cabe decir que existen numerosos métodos disponibles como se observa en el trabajo de R. Fletcher (1987) para la realización de la calibración.

Finalmente, el último paso de este estadio es el la validación del modelo que consiste en determinar si un modelo es capaz de arrojar resultados válidos y fiables de manera que puedan ser útiles para ser comparados con el mundo real y sí estos responden a los objetivos iniciales del modelo programado (Ngo y See 2012). Al igual que en el caso de la calibración, la literatura en torno a la validación también se ha incrementado notablemente estableciendo diferentes métodos para su realización⁵⁵.

El ciclo de la construcción de un Modelo Basado en Agentes finaliza con la comunicación del modelo, o sea, la publicación del modelo *per se* y puede realizarse mediante un mecanismo dual; en primer lugar pueden presentarse los resultados del modelo en el lugar que se considere oportuno y la segunda parte de la comunicación del modelo consiste en la publicación del código y del protocolo ODD en cualquier plataforma virtual destinada a este propósito –por ejemplo, COMSET NET [www.openabm.org]-.

4.3.3 Ventajas y límites del uso de los ABM

Una vez se han clarificado los conceptos, tipologías y propiedades de los Modelos Basados en Agentes, pasaremos a desglosar algunas de las ventajas e inconvenientes en la utilización de esta metodología.

4.3.3.1 Ventajas del uso de los ABM

Algunas de las ventajas en torno a la utilización de los Modelos Basados en Agentes han sido presentadas en el apartado anterior –Análisis múltiple y de abajo-arriba, captura de los fenómenos emergentes, descripción natural del sistemas, el carácter generativista y la cuestión del laboratorio virtual– ya que están relacionadas con las propiedades de esta clase de modelos computacionales. No obstante a continuación presentaremos otras ventajas que merecen nuestra atención. No hay duda que entre estas debemos destacar la posibilidad de utilización de los ABM con ambientes reales, o sea, utilizar la cartografía proveniente de los Sistemas de información Geográfica como el ambiente dónde los agentes interactúan, siendo la obra *Agent-Based Models of Geographical Systems* (Heppenstall et al. 2012) el principal testigo de la necesidad de la implementación de información SIG en los Modelos Basados en Agentes.

Otro punto fuerte de los ABM es sin lugar a duda su carácter multidisciplinar. Al inicio del presente capítulo ya hemos discutido en torno a la importancia de la modelización como

⁵⁵ Véase el trabajo de Ngo y See (2012) para una lista completa de bibliografía en torno a los métodos de validación.

puente entre disciplinas (Axelrod 2006) ya que debido al carácter abstracto en la formulación de los Modelos Basados en Agentes pueden servir para dirigir a los investigadores formados en diferentes disciplinas a discutir en torno a la misma problemática. Por otro lado, este interés multidisciplinar hace que el método se encuentre muy expandido entre diferentes disciplinas, tales como Economía, Ciencias Políticas, Geografía y Arqueología entre otras. En este mismo sentido, Axelrod y Tesfatsion (2006) presentan una guía muy interesante para aquellos que empiezan a trabajar con los ABM donde recomiendan diferentes lecturas según el interés del investigador.

Finalmente debemos destacar la ventaja del *trabajo de la comunidad*, aunque es cierto que este punto fuerte puede ser extrapolado a numerosos software, por norma los que se caracterizan por ser de licencia libre. Cuando nos referimos al trabajo comunitario queremos remarcar que en algunas etapas de la elaboración del modelado –por lo general en la fase de implementación– la existencia de listas de correo donde se plantean las dudas en torno al código o problemáticas similares. Esta característica permite a los *stakeholders* participar de forma directa en la construcción de partes del modelo, e incluso optimizar parte del código, siendo esta perspectiva lo que en la literatura de la modelización se conoce como viraje hacia el uso de procesos participativos en la elaboración de los modelos (Moss y Edmonds 2005).

4.3.3.2 Inconvenientes del uso de los ABM

El entusiasmo y la adopción existente en torno a los Modelos Basados en Agentes no implica que existan algunas limitaciones. En primer lugar debemos destacar la *agregación de roles* en el diseño del modelo; la propuesta de roles establecida por Drogoul y otros (2003) no hay duda que resulta interesante debido a la existencia de expertos en cada fase de la elaboración del modelo, sin embargo en numerosas ocasiones el diseño del modelo reside en una sola persona, que es experta en un parte específica. Esta agregación tiene una ventaja asociada a la unificación del control, mientras que la gran desventaja que presenta es la posible pérdida de precisión y eficacia debido a las “carencias” del investigador en alguna de las etapas.

En segundo lugar debemos destacar uno de los principales problemas en el uso de los ABM, y que corresponde con la *dificultad de venderlos*, o sea, el problema de aceptación por parte de la comunidad científica más ortodoxa de los modelos construidos de esta manera. Un buen ejemplo de esta problemática la encontramos en la experiencia personal de Axelrod y Hamilton en la dificultad que tuvieron de publicar su trabajo (Axelrod 2006). Posiblemente debemos asociar en primer lugar a que los revisores y editores de las publicaciones científicas están más familiarizados con los modelos matemáticos concisos y en segundo lugar pensamos que existen investigadores que aún son reacios a los resultados obtenidos con esta metodología.

También debemos destacar el problema de la *sensibilidad a las condiciones iniciales*, esta problemática es utilizada por los críticos de la teoría de la complejidad recalando la amplia variedad de comportamientos sorpresa que pueden exhibir los modelos computacionales

que raramente pueden encontrarse en el mundo real, por lo tanto, aquellos investigadores que modelan sistemas complejos no son propensos a disfrutar de la comodidad intelectual de leyes como se observan en el mundo de la Física y Química (Wilson 2000).

Los ABM también presentan una desventaja en torno a la *robustez de los resultados* respecto al resto de modelos formales, ya que los modelos analíticos presentan numerosas técnicas y herramientas para poder establecer la robustez de los resultados mientras que ésta en los ABM debe realizarse a partir de la realización de múltiples simulaciones modificando las condiciones iniciales y observando de los resultados (Larrosa 2012, 30).

Finalmente destacamos el inconveniente asociado al *grado de abstracción*, en este sentido la literatura centrada en la modelización tienden a remarcar la importancia del nivel de abstracción. Es decir, la construcción de un modelo con un grado de abstracción alto implica que la posibilidad de perder variables claves en la comprensión del modelo, mientras que si la elaboración del modelo se basa en un grado de detalle exagerado puede llevar a numerosas restricciones llegando a complicar su comprensión (Crooks y Heppenstall 2012, 98).

4.4 Plataformas de Modelado de Agentes: NetLogo como herramienta complementaria

En la actualidad existen multitud de alternativas de software para implementar los Modelos Basados en Agentes. Gilbert y Terna realizan una clasificación de las plataformas en función del grado de acabado del software estableciendo tres niveles (2000, 64–65). Mientras que una muy buena recopilación de la gran cantidad de software está disponible en la página web *General Software and Toolkits. Agent-Based Computational Economics (ACE) and Complex Adaptive Systems (CAS)*⁵⁶ mantenida por L. Tesfatsion.

La mayor parte de las plataformas están desarrolladas bajo la política del software libre ya que estos presentan ventajas respecto al software propietario. Entre ellas destacan el tiempo destinado a la programación *per se*, y el aumento de la eficacia/fiabilidad de la simulación (Tobias y Hofmann 2004). También una política de transparencia y accesibilidad de los recursos es primordial para un campo de la ciencia relativamente joven (Janssen et al. 2008).

Muchos investigadores han realizado esfuerzos para identificar los rasgos que deberían tener la plataforma ideal: desde las características básicas (Railsback, Lytinen, y Jackson 2006; Marietto et al. 2003) hasta el lenguaje más apropiado para la creación de los modelos (Edmonds y Wallis 2003). No obstante, como cabía esperar, estos estudios no llegan al consenso sobre la plataforma ideal para la modelización, incluso la existente heterogeneidad de software puede remarcar en la aparición del llamado efecto Torre de Babel (Terna 1998). Aunque la plataforma ideal en palabras de Gilbert y Bankes “*is a system that requires a minimum of learning, is completely flexible in the models that will support, and runs efficiently on any hardware*” (2002, 7198).

⁵⁶ <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/acecode.htm>. [Acceso 27 junio 2013]

Entre las numerosas ofertas de software disponibles en la presente tesis doctoral hemos utilizado NetLogo (Wilensky 1999) en su versión 5.0.5⁵⁷ para plataforma Mac.

4.4.1 Antecedente del NetLogo: StarLogo

StarLogo⁵⁸ es una plataforma para el desarrollo de “tortugas” en un entorno gráfico y gestado en el *Massachusetts Institute of Technologies Media Lab* por Mitchel Resnick, Andrew Begel y Eric Klopfer entre otros, para modelar los comportamientos de los sistemas descentralizados. La plataforma se basa parcialmente en código Java y en el lenguaje específico YoYo. Éste es una variante del lenguaje de programación Logo⁵⁹ creado sobre Java y permite realizar programas híbridos YoYo/Java. A pesar de ser una plataforma de código abierto y con una curva de aprendizaje rápida debido a que no son necesarios conocimientos previos de Inteligencia Artificial o programación, StarLogo presenta limitaciones para su aplicación en investigaciones ya que se trata de una herramienta con una flexibilidad limitada; siendo su uso más común, la enseñanza (Colella, Klopfer, y Resnick 2001).

4.4.2 ¿Qué es NetLogo?

NetLogo⁶⁰ es una plataforma de modelos, Celular autómatas, dinámicos y de agentes, programables destinado a la simulación de fenómenos naturales y sociales. Este ha sido desarrollado por Uri Wilensky en el *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University* y es especialmente útil para explorar la relación entre el comportamiento a escala micro-espacial de los agentes y los resultados a escala macro-espacial que emergen de sus interacciones – las de los agentes –, ya que NetLogo permite dar instrucciones desde unos pocos a miles de agentes con conductas independientes. Este es de código abierto con licencia general pública (GPL), y está organizado en tres interfaces: visual – 2 ó 3 dimensiones –, información y código; estando disponible para UNIX, Mac OS X y MS-Windows. La plataforma se ejecuta en la máquina virtual de Java y en lenguaje de programación Logo, siendo esta la principal desventaja ya que es necesario aprender una serie de primitivas para poder construir los modelos. Por otro lado, la plataforma NetLogo presenta cuatro entidades fundamentales:

a) *Observador*: entidad especial que la plataforma proporciona para poder manejar al resto de los agentes del mundo. En realidad es externo al mundo virtual y tiene capacidad para ordenar acciones a todos los demás agentes.

57 Disponible en diciembre de 2013, con anterioridad se utilizaba la versión 5.0.4. Cabe decir que en julio de 2014 aparece la versión 5.1.0 que como principal característica presenta una extensión para la creación de redes y en enero de 2015 la versión 5.2 beta.

58 <http://education.mit.edu/starlogo/>

59 Para una primera aproximación a sus características e historia consúltese <http://www.neoteo.com/logo-te-acuerdas-de-la-tortuga>. [Acceso 27 junio 2013]

60 <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

b) *Tortugas*: entidades que pueden ser utilizadas para la representación de cualquier tipo de agente.

c) *Patches*: estas representan el mundo donde viven las tortugas, aunque estas no tienen porqué ser objetos pasivos donde interactúan las tortugas.

d) *Links*: *enlaces* entre los agentes, en este caso no se debe confundir con las interacciones que se producen entre los agentes.

No vamos a ser minuciosos en la descripción de las características, ventajas y funciones ya que disponemos de un manual público así como tutoriales y listas de correo – ver nota al pie 61–. Sin embargo entre las características que debemos destacar está la posibilidad de implementar extensiones que permiten la lectura de archivos ráster e incluso la utilización de otras plataformas y lenguajes de programación específicos, por ejemplo R (Thiele y Grimm 2010).

Entre las principales ventajas de NetLogo cabría destacar que nos permite, en una sola herramienta, abordar prácticamente todo el proceso de modelado, y por supuesto, al ser un lenguaje de programación el proceso de implementación es natural. Las buenas propiedades de la plataforma hace que esta primera parte del proceso se simplifique considerablemente, pero va mucho más allá y nos permite evaluar los resultados de ejecución para poder compararlo con el mundo real. Finalmente éste, NetLogo, incorpora el HubNet que permite la ejecución de simulaciones en las que el “modelador” controla el comportamiento de determinados agentes.

Con todo lo descrito en las líneas anteriores y junto al continuo desarrollo/actualización de la plataforma, su curva de aprendizaje rápida (Tisue y Wilensky 2004), la excepcional documentación – dispone de una biblioteca de modelos accesible para cualquier campo de la ciencia –, su ambiente muy intuitivo para los usuarios principiantes y su corrector de código “*Syntax Checker*” han convertido a NetLogo, hoy por hoy, en una de las principales plataformas para la elaboración de ABM tanto en el ámbito académico como científico (Lytinen y Railsback en prensa; Railsback y Grimm 2012).

4.4.3 Otras plataformas de Simulación Basada en Agentes

Como hemos comentado en la parte introductoria del apartado 4.4 existe un gran abanico de herramientas de *software* disponibles para la implementación de los ABM. No obstante, la realización de una lista exhaustiva supondría excederse en los objetivos de la presente tesis doctoral –un estudio muy completo sobre las herramientas de Simulación Basada en Agentes ha sido elaborado por R.J. Allan (2010)–. Así que desarrollaremos brevemente las principales plataformas que se han utilizado o utilizan para la comprensión de algún fenómeno arqueológico (Kohler et al. 2000; Kohler y Varien 2012; Cioffi-Revilla et al. 2007). En la siguiente tabla (tabla 4.2) se presenta una comparación de las cuatro grandes plataformas desarrolladas en el texto.

En primer lugar destacamos Swarm, y no hay duda que ha sido la plataforma que más influencia ha tenido, ya que fue la primera. Ésta nace en 1994 en el *Santa Fe Institute* de la

	Swarm	RePast	Mason	Netlogo
Licencia	<i>GPL</i>	<i>GPL</i>	<i>GPL</i>	<i>Libre (no código abierto)</i>
Documentación	<i>Irregular</i>	<i>Limitada</i>	<i>Mejorada (Limitada)</i>	<i>Buena</i>
Comunidad de Usuarios	<i>Disminuyendo</i>	<i>Extensa (consolidada)</i>	<i>Incrementando</i>	<i>Extensa (consolidada)</i>
Lenguaje programación	<i>Objective-C y Java</i>	<i>Java y Python</i>	<i>Java</i>	<i>Logo</i>
Velocidad de ejecución	<i>Moderada</i>	<i>Rápida</i>	<i>Muy rápida</i>	<i>Moderada</i>
Desarrollo interface usuario	<i>Limitada</i>	<i>Buena</i>	<i>Buena</i>	<i>Muy fácil (intuitiva)</i>
Creación de animaciones	<i>No</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Soporte para experimentaciones sistemáticas	<i>Alguna</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>
Dificultad aprendizaje programación	<i>Alta</i>	<i>Moderada</i>	<i>Moderada</i>	<i>Baja</i>
Dificultad instalación	<i>Alta</i>	<i>Moderada</i>	<i>Moderada</i>	<i>Baja</i>
Extensión SIG	<i>No</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>	<i>Si</i>

Tabla 4.2 Comparación de las principales plataformas de simulación. Elaboración propia a partir de Abdou et al., 2012, 152

Table 4.2 Comparison of key simulation platforms. Compiled from Abdou et al., 2012, 152

mano de Chris Langton con el objetivo de analizar el comportamiento de un gran número de agentes en interacciones sencillas (Carley y Gasser 1999). En sus inicios este se desarrollaba en *Objective-C* aunque con posterioridad se migró a Java. *Swarm* consiste en una colección de librerías orientadas a objetos que proporcionan un conjunto de herramientas flexibles para que el investigador construya modelos, así como que éste pueda analizar, visualizar y controlar los experimentos.

En segundo lugar destacamos la plataforma MASON desarrollada de forma dual por el *Computer Science Department* y el *Center for Social Complexity* de la *George Mason University* y se centra en la simulación de eventos discretos (Luke et al. 2003). Por lo que se refiere a las características cabe destacar su velocidad en la ejecución del modelo y debido los objetivos de replicabilidad, éste ha sido diseñado en lenguaje Java.

Finalmente destacamos la plataforma Repast⁶¹ que corresponde al acrónimo *Recursive Porous Agent Simulation Toolkit* y fue desarrollado desarrollado en sus inicios por *University of Chicago*, aunque desde hace un tiempo se debe añadir al mantenimiento el *Argonne National Laboratory*. Repast en sus inicios fue concebido en Java para ser compatible con Swarm, aunque hoy por hoy permite realizar múltiples implementaciones en varios lenguajes de programación asociados a objetos –Python y Java– y presenta algún soporte para la integración de algoritmos genéticos, regresiones y Sistemas de Información Geográfica –por ejemplo la extensión GeoGraph 3D (Dibble y Feldman 2004)–.

61 <http://repast.sourceforge.net/docs.php>

**UN MODELO DE AGENTES APLICADO
A LA VARIABILIDAD CULTURAL
DEL PRIMER NEOLÍTICO EN
EL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL**

Este capítulo trata sobre la aplicación de nuestro modelo de agentes al proceso de la expansión del Neolítico en el Mediterráneo occidental. Presentamos en el mismo tanto los aspectos formales en torno al diseño del modelo, como las cuestiones técnicas –calibraciones y validaciones–, así como la descripción de los diferentes experimentos realizados.

5.1 Especificaciones del Modelo

En este epígrafe presentamos las especificaciones del modelo *expansión cultural del Neolítico* elaborado en el contexto de la presente tesis doctoral. La mayor parte del modelo ha sido diseñado utilizando NetLogo en su versión 5.0.4, aunque posteriormente fue migrado a la última versión estable –5.1– tras su lanzamiento en julio del 2014. La descripción formal, el ODD, ha sido elaborado siguiendo la propuesta de Grimm y colaboradores (2006; 2010) y puede consultarse en el apéndice C.

El modelo ha sido implementado en un ordenador portátil con sistema operativo OS X 10.9.4, procesador 1.8 GHz Intel Core i5 y con una memoria interna de 4 GB [1600 MHz DDR3]. Los experimentos previos para testar los diferentes parámetros utilizados fueron elaborados con un ordenador de mesa con sistema operativo OS X 10.9.4, procesador 2.7 GHz Intel Core i5 y con una memoria interna de 16 GB [1600 MHz DDR3].

Finalmente la computación del modelo y la recolección de los datos se ha realizado mediante la utilización del servicio de cálculo intensivo de la Universitat de València⁶², y más en concreto el empleo de la máquina multiprocesadora *MULTIVAC*, que cubre tanto el paradigma de computación paralela de memoria compartida como el paradigma de computación. Sobre sus características específicas debemos destacar que corresponde a un cluster de PC con 29 nodos de cálculos y cada uno de ellos consiste en una máquina biprocesador Intel Xeon Dual Core 5160, 3 GHz con 3 MB de caché L3 y 8 GB de memoria RAM. La principal ventaja de su utilización atañe al tiempo de computación, pues este se ha reducido de forma notable, además de habernos permitido rodar varias simulaciones en paralelo gracias a su carácter multiprocesador.

5.1.1 El modelo de NetLogo

Seguidamente mostraremos con un grado de detalle amplio las características del modelo, no obstante las cuestiones asociadas a la programación –código– pueden consultarse en el anexo D.

5.1.1.1 El “paisaje” virtual.

El primer paso en la elaboración de nuestro modelo ha consistido en decidir como debe ser el paisaje donde se lleva a cabo el fenómeno que queremos investigar, es decir, utilizar un ambiente de modelización abstracto o realista. En este sentido nos hemos decantado por em-

62 <http://www.uv.es/siuv/cas/zcalculo/calculouv/intro.wiki>. [Acceso 19 de septiembre de 2014]

plear la segunda propuesta ya que la extensión GIS⁶³ de NetLogo permite construir un mundo real con una resolución espacial muy elevada. De este modo nuestro ABM quedaría enmarcado dentro de la tercera categoría establecida por O'Sullivan y colegas (2012), *modelos basados en agentes con geografía detallada*.

La extensión GIS utilizada, desarrollada por E. Russell, permite importar archivos vectoriales y archivos ráster en formato ESRI ascii, así como la utilización del procedimiento envolope de forma que NetLogo reconoce de manera automática el sistema de proyección de los archivos cargados haciendo el proceso realmente muy sencillo.

a) *El paisaje digital*: Ya hemos comentado con anterioridad –capítulo 1– la insistencia actual sobre la importancia de los factores ambientales como detonante en la expansión de los grupos neolíticos (Weninger et al. 2006; Gronenborn 2009; 2010). Siguiendo este enfoque se ha publicado recientemente un trabajo⁶⁴ donde se reconstruyen las condiciones ambientales en torno al 6000 BP y se modeliza la expansión del Neolítico, estableciendo que estas condiciones han sido un factor importante en la construcción de los nichos culturales del primer Neolítico (Banks et al. 2013).

Bajo esta perspectiva, hemos elaborado un paisaje digital ecológico –mediante el software GRASS-GIS 7.0– asociado al cultivo del trigo, ya que dentro de las diferentes especies de cereales este es el más exigente desde un punto de vista climático. Las tres variables consideradas son la pendiente, la temperatura y la precipitación; los datos asociados a las variables utilizadas (Hijmans et al. 2005) son de acceso libre⁶⁵. En relación con la temperatura y la precipitación solo se han utilizado los datos asociados a los meses de marzo-mayo, ya que corresponden al periodo reproductivo –escañado, espigado y formación del grano– (López Bellido et al. 1996), el momento en que el cereal está más expuesto a las variaciones ambientales. Sobre la naturaleza de los datos debemos destacar dos cuestiones fundamentales: a) la información climática proviene de la interpolación de las condiciones observadas entre el 1950-2000; b) la resolución seleccionada ha sido la de 30 segundos, es decir, una definición aproximada de 1 Km².

1- Pendiente: En primer lugar debemos remarcar que las primeras comunidades agrícolas y ganaderas no hicieron uso de terrazas artificiales –bancales–. En este sentido un trabajo reciente (Bevan y Conolly 2004) indica que las áreas con un porcentaje de pendiente superior al 15% serían de uso marginal. No obstante el hecho de utilizar una resolución de 1 Km² implica que áreas con una pendiente inferior a la interpolada en la celda pudieron existir, pero la resolución del ráster hace imposible su identificación.

63 <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/gis.html> [consultada el 15 de septiembre de 2014].

64 El trabajo desde una perspectiva metodológica resulta impecable, pero al mismo tiempo el registro arqueológico utilizado bajo nuestro punto de vista resulta bastante pobre.

65 <http://www.worldclim.org>. [Acceso 3 enero de 2014].

En nuestro caso hemos utilizado esta investigación realizada en la isla de Kythera –Grecia– para realizar una reclasificación del ráster de pendiente original en cuatro clases, es decir, hemos creado un nuevo ráster –índice de pendiente–.

- Las áreas con una pendiente situada entre 0-5% adquieren un valor ecológico 4.
- Las zonas con un porcentaje entre 6-10% obtienen valor ecológico 3.
- Aquellas situadas entre 11-15% pasan a tener un valor ecológico 2.
- Las áreas con una pendiente superior al 15% adquieren valor ecológico 1.

2a- Temperatura mínima: La bibliografía agrícola establece que si durante el periodo de crecimiento del trigo se documentan temperaturas inferiores a los 0 C°, el cultivo del cereal es inviable, en cambio las temperaturas superiores a los 5 C° son aptas (López Bellido 1991; Lestern 1987). En nuestro caso hemos elegido utilizar la temperatura mínima del mes más frío del ciclo reproductivo, es decir, el mes de marzo. A partir de la información recopilada en la literatura cerealística⁶⁶ se ha realizado una reclasificación del ráster de temperaturas mínimas en tres clases obteniendo un nuevo ráster –índice de temperatura mínima–.

- Zonas con temperaturas inferiores a 0 C° adquieren un valor ecológico 0.
- Aquellas donde las temperaturas se sitúan entre los 0-5 C° pasan a tener valor ecológico 1.
- Áreas con temperatura superior a 5 C° obtienen un valor ecológico 2.

2b- Temperatura máxima: Por lo que respecta a las temperaturas máximas, sí que hemos considerado el ciclo reproductivo del trigo, es decir, hemos utilizado la media de las máximas situadas entre marzo-mayo. En este sentido varios trabajos establecen que las temperaturas óptimas para el cultivo del trigo se sitúan entre los 18-24 C° (López Bellido 1991), aunque puede tolerar temperaturas más elevadas, (Wardlaw, Dawson, y Munibi 1989). Hemos procedido así a la elaboración de un nuevo ráster –índice de temperatura máxima– a partir de la reclasificación de las temperaturas máximas en cuatro grupos.

- Las áreas con máximas inferiores a 18 C° adquieren un valor ecológico 1.
- Las zonas con temperaturas situadas entre 18-24 C° obtienen valor ecológico 3.
- Aquellas con valores máximos entre 24-30 C° pasan a tener un valor ecológico 2.
- Las áreas con máximas que sobrepasan los 30 C° refieren un valor ecológico 1.

3- Precipitación: El tratamiento de los datos de precipitación ha seguido el mismo método que las temperaturas máximas, es decir, utilizar la acumulación pluviométrica durante el ciclo reproductivo del trigo. En la región mediterránea tradicionalmente se considera que la lluvia durante este ciclo es decisiva para la obtención de un alto rendimiento del trigo (López Bellido et al. 1996). Sin embargo, este puede crecer en diferentes ambientes mediterráneos

66 Debemos ser conscientes en todo momento que los datos en torno al cultivo del trigo provienen de la investigación sobre especies actuales.

con más o menos dificultad según la cantidad de agua recibida (Acevedo et al. 1999, tabla 14.1). A partir de estas premisas hemos elaborado un índice de pluviometría mediante la re-clasificación de la precipitación media de los meses de marzo-mayo. Esta clasificación se ha basado en estimaciones efectuadas a partir de las cantidades anuales de precipitación que necesita el cereal; según López Bellido (1991) el rango óptimo de lluvias anuales debe situarse entre 375-875 mm.

- Las áreas con lluvias inferiores a 100 mm adquieren un valor ecológico 0.
- Las zonas con valores pluviométricos situados entre 100-150 mm obtienen valor ecológico 1.
- Aquellas con lluvias situadas entre 150-300 mm pasan a tener un valor ecológico 2.
- Las áreas con datos pluviométricos entre 300-600 mm tienen un valor ecológico 1.
- Aquellas que presentan precipitaciones que sobrepasan los 600 mm reflejan un valor ecológico 0.

En la siguiente tabla-resumen (tabla 5.1) quedan reflejados los valores enumerados en las líneas superiores y su reclasificación.

Slope Index		Min. temp. Index		Max. temp. Index		Rainfall Index	
0-5 %	4	< 0 °C	0	< 18 °C	1	< 100 mm	0
6-10 %	3	0-5 °C	1	18-24 °C	3	100-150 mm	1
11-15 %	2	> 5 °C	2	24-30 °C	2	150-300 mm	2
> 15 %	1			< 30 °C	1	300-600 mm	1
						> 600 mm	0

Tabla 5.1 Valores climáticos utilizados para la elaboración del mapa de productividad (mapa ecológico).
Table 5.1 Climatic values used to build the productivity map (ecological map).

Una vez obtenidos los índices ecológicos de cada una de las variables considerada se ha elaborado el mapa ecológico del mediterráneo Occidental. Éste se ha construido mediante la herramienta *calculadora de mapas*, disponible en cualquier Sistema de Información Geográfica, que consiste en realizar una suma de los ráster previos celda a celda para obtener un ráster final. En la siguiente figura (figura 5.1) podemos observar el mapa definitivo que conforma nuestro paisaje del modelo, el cual presenta una variación de los valores ecológicos entre 2 y 11 en cada una de las celdas del ráster. Finalmente, para evitar errores con la memoria java al ejecutar nuestro modelo, se ha decidido modificar la resolución del mapa ecológico estableciendo un tamaño de cada una de las celdas en torno a los 5x5 Km.

b) Agentes del modelo: Nuestro modelo de agentes presenta dos tipos de agentes, celdas y tortugas. Las *patches* –celdas– son agentes inmóviles que cambian sus estados según los

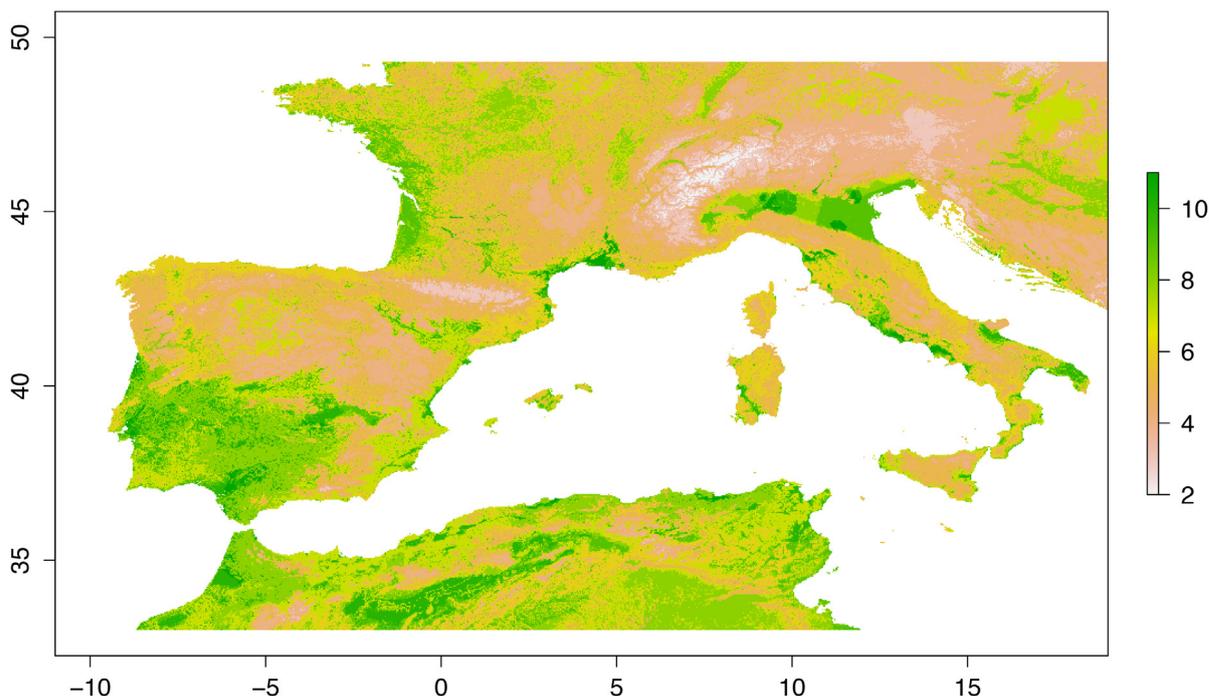


Figura 5.1 Mapa ecológico utilizado en el ABM.
Figure 5.1 Ecological map used in the ABM.

procesos de expansión e interacción –podemos considerar nuestro modelo como un autómata celular. Cada una de ellas presenta una variable cultural y una variable “agrícola” que indica si estas disponen de agricultura.

Con el fin de investigar el proceso de expansión de la agricultura –sin parámetros culturales– también se ha codificado la incorporación de yacimientos arqueológicos, en este caso los agentes –los sitios arqueológicos– pasan a ser *turtles*. Para este propósito, los sitios son inmóviles y persisten durante la duración de la simulación.

Finalmente el modelo presenta un tercer tipo de agente “turtle” que permanece inmóvil a lo largo del proceso de modelización y que se corresponde con el punto de origen del proceso de difusión del Neolítico –cruz de color roja–. Este ha sido definido para localizar visualmente el inicio de la expansión y se sitúa por defecto en el sur de Italia; sin embargo puede ser colocado en cualquier otra parte de nuestro ambiente siempre que le indiquemos las coordenadas NetLogo del punto de origen.

5.1.1.2 Las regiones del modelo [regiones virtuales]

La construcción de las regiones se ha desarrollado en dos fases debido a la necesidad de diseñar virtualmente unas áreas que representen unidades geográficas para el posterior análisis de los datos, así como mitigar el problema del sesgo en el registro arqueológico. Es decir, para minimizar los problemas de la muestra asociados a una interpretación errónea o representación

excesiva. Este aspecto se debe a la existencia de diferentes clases de asentamientos –abrigos, cuevas y poblados– pueden asociarse a una funcionalidad específica y los conjuntos cerámicos son desiguales debido a que en algunos casos estos provienen de pequeños sondeos mientras que en otros los materiales se asocian a excavaciones en extensión.

Volviendo a la construcción de las regiones, el estadio inicial ha consistido en la cuadrícula del espacio geográfico en celdas de igual tamaño, siendo la dimensión de estas 50 x 50 Km, utilizando el software GRASS-GIS 7.0. No hay duda que la utilización de cuadrículas es un método totalmente arbitrario para la división de nuestra área de estudio, aunque este método de división geográfica viene siendo utilizado conspicuamente en diferentes trabajos (Davison et al. 2006; Bocquet-Appel et al. 2009) Una vez cuadrículado el Mediterráneo occidental en partes iguales hemos decidido la agrupación de diferentes celdas para poder diferenciar regiones geográficas y al mismo tiempo mitigar el posible sesgo en los datos arqueológicos. El hecho de descartar la utilización de la retícula de tamaño regular es debido a que solo se podrían utilizar aquellas, celdas, que tuvieran una información amplia. Esto es debido a que, en primer lugar, la información arqueológica que disponemos es parcial, ya que como muy bien han remarcado Kuhn y Steiner (2006, 957) “*absence of evidence is not evidence of absence*”⁶⁷, y, en segundo lugar, –o por consiguiente– la información de que disponemos no es perfecta.

La primera razón por la que nos hemos decantado por la agrupación de celdas de la cuadrícula reside en evitar la información que proviene de un solo yacimiento arqueológico dado que la parcialidad del registro condiciona nuestra capacidad de definir culturalmente un área. Es decir, con independencia de que el yacimiento presente una gran cantidad de información arqueológica –por ejemplo: Arene Candide, Abri Pendimoun, Cova de l’Or, Cueva de Nerja– nunca estaremos en la disposición de afirmar que determinado yacimiento represente la totalidad de la cultura material del área donde se localiza. La utilización de áreas donde solo se conoce un número reducido de yacimientos implicaría que nuestra muestra podría estar afectada por este sesgo.

En cuanto a la calidad de la información, el hecho de trabajar con niveles arqueológicos podría conllevar la existencia de combinaciones de materiales de diferente cronología. Un ejemplo claro de la posible mezcla de información de cronología diversa puede observarse en el yacimiento de Les Guixeres –Vilobí, Penedès– donde las dataciones radiocarbónicas que fechan el horizonte A presentan una diferencia entre ellas de 200 años⁶⁸, corroborando la hipótesis de la posible combinación de materiales de diferentes fases asociadas al Neolítico antiguo.

67 Esta frase es atribuida por Billingham y Oliver (1973) al astrofísico británico Martin Rees en el informe del proyecto ciclope.

68 Ambas dataciones se han realizado sobre hueso de *Ovis aries*, la primera de ella se sitúa en la primera mitad del VI milenio (OxA-26068 [6655±45]) mientras que la segunda fecha se localiza en la segunda mitad del mismo milenio (OxA-26069 [6458±35]) (Oms et al. 2014). En el capítulo 7 se reflexionará en torno a la cronología de los niveles arqueológicos.

En otros casos los niveles fechados abarcan un intervalo cronológico muy amplio y por consiguiente podemos incurrir en agrupar material arqueológico de cronología diversa. El caso de la Cova d'en Pardo –Planes, Comtat– ilustra perfectamente esta situación ya que su nivel VIII se fecha a partir de las dataciones radiocarbónicas en la primera mitad del VI milenio –Beta-231880 [6600±40] y Beta-231879 [6610±40]– mientras que el nivel inmediato, VII, presenta una fecha que se sitúa en el último cuarto del milenio –Beta-231877 [6200±40]–. Los 400 años entre la fecha *ante quem* y la fecha *post quem* del nivel VIII implican la presencia de materiales arqueológicos de diferente cronología.

En definitiva, aunque nuestro método de agrupación de celdas es un método no aséptico permite mitigar el sesgo arqueológico gracias a que cada región se define a partir de la unión de la información arqueológica que proviene de varios asentamientos de diferente índole –cuevas, abrigos y poblados al aire libre–.

En la siguiente figura (figura 5.2) podemos observar el mapa definitivo que conforma nuestras regiones del modelo, un total de 36, donde cada una de estas presenta un número desigual de celdas y por extensión de tamaño.

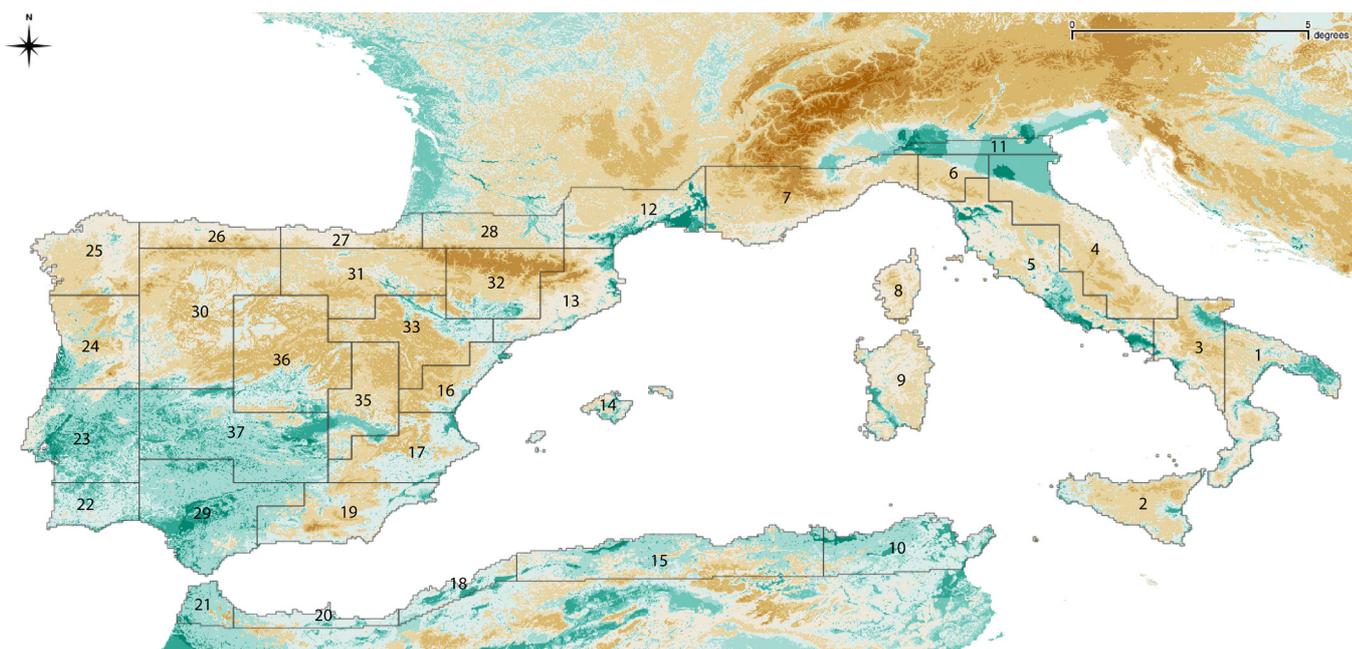


Figura 5.2 Mapa de las regiones virtuales diseñadas.

Figure 5.2 Map of virtual regions designed.

5.1.1.3 El proceso de expansión.

En el primer capítulo del presente trabajo ya hemos esbozado los dos movimientos de expansión considerados para explicar la difusión del Neolítico. En nuestro modelo de *expansión cultural* se han programados ambos movimientos –pueden consultarse en el apéndice D–. El primero de ellos, corresponde al movimiento clásico de Ola de avance promulgado por Fischer (1937) y aplicado a la expansión del Neolítico por numerosos investigadores –*vid* capítulo 4–. Su

funcionamiento no es complicado (figura 5.3), de modo que la difusión de la agricultura se realiza desde una celda a sus celdas vecinas que carecen de esta, y siempre y cuando sean aptas para la agricultura.

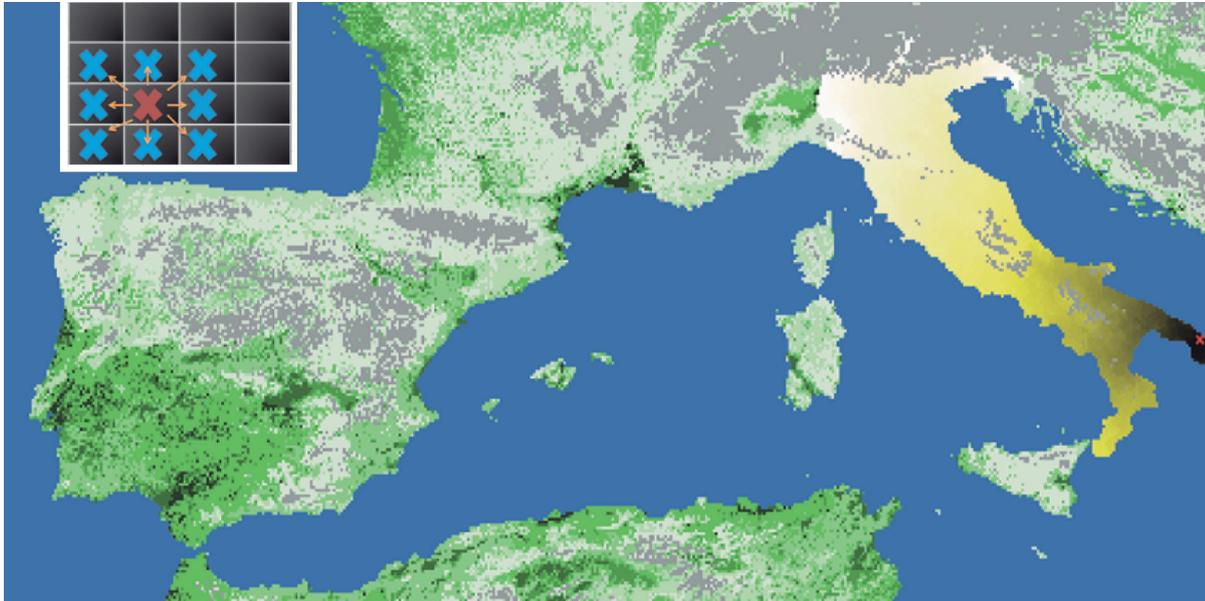


Figura 5.3 Ilustración del movimiento de ola de avance.
 Figure 5.3 Illustration of wave of advance movement.

El segundo movimiento implementado corresponde al llamado leapfrog (van Andel y Runnels 1995) en el cual la difusión de la agricultura se realiza desde cualquier celda a otra celda seleccionada al azar que sea apta (figura 5.4). La selección de la celda de destino se realiza dentro de un radio de distancia establecido por el investigador en la interfaz del programa.

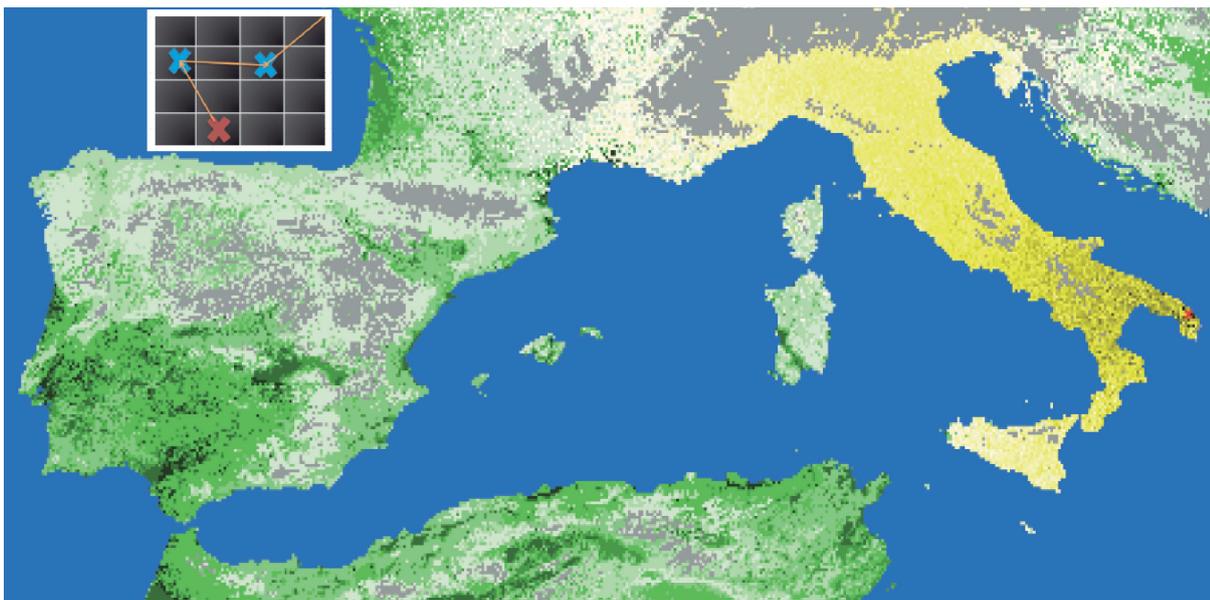


Figura 5.4 Ilustración del movimiento Leapfrog
 Figure 5.4 Illustration of Leapfrog movement

5.1.1.4 Algoritmos de interacción.

A continuación esbozamos los tres procesos de interacción definidos a partir de las premisas teóricas explicadas –capítulo 3– y los objetos perseguidos. Las cuestiones asociadas a la programación *per se* pueden consultarse en el apéndice D.

Nuestro modelo de expansión cultural presenta tres procesos de interacción o transmisión cultural; el primero de ellos recibe el nombre de *hitchhiking-drift* y corresponde a la implementación del modelo neutral (Kimura 1968) donde el principal mecanismo que afecta a la variabilidad del rasgo cultural es la deriva.

El segundo proceso, *hitchhiking-most-ancient*, corresponde a la implementación de una transmisión cultural afectada por sesgo, ya que en el proceso de adopción del valor cultural cada celda inspecciona su entorno, según movimiento, para copiar el carácter de la celda que ha adoptado la agricultura en primer lugar.

El tercer, y último, algoritmo diseñado corresponde al *hitchhiking-most-common* y que al igual que el anterior también incorpora un sesgo en el momento de copiar el valor cultural. En este caso cada celda inspecciona su entorno para adoptar el carácter más común.

Con independencia del algoritmo seleccionado debemos remarcar dos cuestiones. En primer lugar todos ellos presentan una posibilidad estocástica de cambio debido a errores de innovación o de copia –consiste en una tasa de innovación fijada al inicio de la simulación–. Finalmente, como se puede observar en la misma nomenclatura de los procesos, el mecanismo de transmisión se basa en la hipótesis del *hitchhiking* o arrastre por ligamento.

5.1.1.5 Almacenamiento de los resultados del modelo:

Nuestro modelo ha sido programado para generar registro arqueológico virtual. Además, la recolección de los datos para cada simulación se ha organizado según los intereses del investigador. En nuestro modelo de expansión cultural se presentan cuatro tipos de procedimientos para guardar los resultados.

1.-Output-radiocarbono: Para que este funcione el modelo debe tener cargado el archivo vectorial con los yacimientos arqueológicos. Este almacena la información de llegada del Neolítico en cada yacimiento, y solo escribe en el archivo de salida un resultado por punto vectorial cargado. Los resultados se presentan con una cabecera que proviene del archivo shapefile y un campo más llamado “llegada” que corresponde al momento de la llegada del Neolítico. Este es el único de los algoritmos que no necesita el ráster de regiones para guardar resultados.

2.-Output-Sensibilidad: Este archivo de resultados solo guarda la información de una región seleccionada en la interfaz ya que está pensado para obtener resultados de sensibilidad. En este caso la primera columna representa el número de *tick* correspondiente y el resto de columnas hacen referencia a la variable cultural.

3.-Output-Regiones: Este *output* presenta un bucle para guardar la información región

a región. Este almacena el número de celdas que presentan valor cultural X , o sea, realiza un conteo de número de parcelas con agricultura y variable cultural $X_0, X_1, X_2... X_n$. Al igual que en los casos anteriores no presenta ningún tipo de cabecera; las columnas hacen referencia al conteo de parcelas con la variable cultural valor $X_0, X_1... X_n$ con excepción de las dos últimas que hacen referencia al número de *tick* y experimento. Este último valor siempre será 0 si no se utiliza el analizador de comportamiento.

Con independencia del método para guardar los resultados estos presentan el nombre del archivo, el tipo de expansión y el proceso utilizado, así como determinadas variables aparecen en el nombre del archivo para su rápida identificación –técnicas, distancia de salto, umbral ecológico y valor del ratio de innovación–. El formato que utiliza el modelo para guarda los resultados es el de valores separados por comas, conocido como *csv* por sus siglas en inglés, ya que es fácil de tratar e importar a diferentes software estadísticos; además al tratarse de un formato no propietario siempre podrá ser leído. El tamaño de los archivos varía dependiendo del número de *ticks* que almacena, siendo los más extensos aquellos que guardan la información de las regiones que se sitúan geográficamente más cerca del punto de origen. La razón del tamaño desigual de los archivos de salida es simple, aquellas regiones que se sitúan más cerca del punto de origen –localizado en el sur de la península Italiana– presentan más números de *ticks* que aquellas situadas en el espacio más alejado debido a que el archivo de salida solo se crea cuando al menos una celda de la región presenta agricultura.

5.1.2 Análisis de los datos del modelo

Previamente a la descripción de los resultados de la simulación debemos explicar el modo de análisis de los archivos de salida –*Raw data*– ya que el procedimiento va más allá de un conteo del número de variables por espacio-tiempo.

En este sentido nos hemos decantado por la utilización de las herramientas procedentes de la ecología –aproximaciones a la diversidad– debido a que nos permiten obtener información más allá del simple listado de variables. Dentro de la ecología existen tres tipos de diversidad: Alfa, Beta y Gamma (Whittaker 1960). La primera de ellas corresponde al número de especies presentes en un lugar (Halffter y Moreno 2005, 8). Los mismos autores definen la diversidad *gamma* como el número de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje (*ibidem* 2005:11).

Finalmente, la diversidad beta, utilizada por nosotros, se define como la medida de cambio o remplazo en la composición de especies (Villareal et al. 2006:191). El análisis consiste en comparar los resultados que provienen de dos regiones utilizando el método de similitud-disimilitud para organizar los datos en matrices de semejanza que se calcularán a partir del coeficiente *Brainerd-Robinson* [BR].

No se trata pues de un índice ecológico ya que es un coeficiente de similitud que ha sido desarrollado en el ámbito arqueológico para comparar información categórica. Por consiguien-

te, el coeficiente BR debe considerarse como el análogo arqueológico de cualquier índice ecológico centrado en el cálculo de la diversidad beta, y este consiste en una medida de similitud calculada a partir de la suma de los valores absolutos de las diferencias en los porcentajes entre dos conjuntos de datos (DeBoer, Kintigh, y Rostoker 1996, 266); formalmente se expresa con la siguiente fórmula (5.1):

$$S = 200 - \sum_{k=1}^p | P_{ik} - P_{jk} |$$

Fórmula 5.1 Brainerd-Robinson

donde k hace referencia a todas las variables y P corresponde al porcentaje total del conjunto i y j .

El coeficiente BR arroja valores situados entre 0 y 200 donde el primero indica que no existe semejanza mientras que el segundo nos señala la existencia de una similitud perfecta. En definitiva este nos permite calcular matrices de semejanza permitiéndonos comparar diferentes resultados virtuales entre ellos y/o con el registro arqueológico. Debido a que no existen consenso entre los investigadores en torno a la bondad del coeficiente BR (González Lens y Meggers 2009) hemos decidido utilizar otros índices para asegurarnos que nuestras interpretaciones son correctas. En la siguiente tabla se presenta un ejemplo teórico de resultados del coeficiente BR.

Variable	A	B	C
A	200	179.58	164.85
B	179.58	200	172.07
C	164.85	172.07	200

Tabla 5.2 Ejemplo matriz Brainerd-Robinson
Table 5.2 Example of a Brainerd-Robinson matrix

El siguiente cálculo realizado es la llamada distancia de Chebyshev (Abello, Pardalos, y Resendre 2002). Esta corresponde a la distancia máxima entre dos vectores localizados en el espacio. Es decir, calcula la distancia entre dos puntos utilizando un movimiento similar al realizado por el rey y la reina en el ajedrez: utiliza las 8 celdas alrededor del vector. Formalmente se expresa con la siguiente fórmula (5.2):

$$\text{DISTANCIA CHEBYSHEV (i,j)} = \max |x_i - x_j|$$

Fórmula 5.2 Chebyshev

donde x_i y y_j corresponden a los dos vectores considerados, mientras que x indica las coordenadas estándares de cada vector.

El siguiente paso es la evaluación de las matrices obtenidas con los índices, y para este propósito se aplica el test de Mantel que permite valorar diferentes matrices de datos y entre ellas las de distancia. La hipótesis nula del test de Mantel postula que la semejanza entre las variables de la matriz y no está linealmente correlacionada con la semejanza de la matriz x . Según Lengrede y Lengrede (1998) el test básico de Mantel se calcula (5.3):

$$z^M = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n X_{ij} Y_{ij}$$

Fórmula 5.3 Test de Mantel
Formula 5.3 Mantel test

donde i y j indican la fila y columna de la matriz de datos. En definitiva x_{ij} y_{ij} indican las matrices de datos que serán comparadas. El funcionamiento de este test es simple: en primer lugar a partir de las matrices introducidas realiza n permutaciones –la literatura recomienda 10.000– y a continuación crea la distribución de los resultados. Finalmente el test realiza una comparación entre los datos permutados [no con los datos originales] para evaluar las matrices de semejanza que deseamos.

Sobre la significación del test de Mantel, debe ser interpretado igual que el coeficiente de correlación de Pearson – R de Pearson– o sea, este test es un modelo lineal que calcula la relación entre los valores de dos matrices de distancia (Lengrede y Lengrede 1998, 554). Si el resultado es nulo debe interpretarse como la inexistencia de relación entre las matrices comparadas, así como si el valor se sitúa en torno al 1 indica que la relación entre los datos comparados es alta.

Los análisis, modificaciones y cálculos de los archivos de salida de nuestro ABM se han realizado con el software estadístico R (Core Team 2013) ya que proporciona numerosas herramientas estadísticas –*tests, incorporación de paquetes específicos de cálculo o representación gráfica...*– que pueden tratar los datos de forma rápida, y que funciona mediante programación lo que permite a los usuarios adaptar –mediante *scrips*– las herramientas a sus necesidades.

5.2 Verificación y testeo del modelo

A continuación describiremos el procedimiento usado para validar nuestro modelo de expansión cultural. Sin lugar a duda la verificación, calibración y validación de los Modelos Basados en Agentes es una premisa realmente importante para asegurar que nuestro modelo funciona de forma correcta, y representa el fenómeno que deseamos investigar. Las cuestiones

teóricas en torno a la verificación del modelo han sido expuestas en el capítulo anterior, así que no nos detendremos en estas más de lo necesario. Antes de rodar el modelo con los parámetros considerados, nuestro modelo de expansión cultural del Neolítico en el Mediterráneo occidental ha sido probado exhaustivamente. Este proceso ha sido llevado a cabo en 7 pasos, cuyos objetivos eran:

- 1-. Verificar la programación del modelo.
- 2-. Experimento de sensibilidad para establecer el número de repeticiones óptimas
- 3-. Establecer el valor de los *ticks* del programa en tiempo arqueológico.
- 4-. Fijar el valor máximo de *ticks* por repetición.
- 5-. Calibrar el parámetro de técnica.
- 6-. Comparación de los resultados obtenidos con diferentes valores de μ .
- 7-. Fijar, si procede, un valor ecológico para las simulaciones.

Seguidamente mostramos los resultados de cada uno de los tests realizados, en nuestro caso los primeros experimentos se realizaron a principios de junio y el experimento más reciente terminó a finales de septiembre.

5.2.1 Verificación de código

Como ya hemos comentado al inicio del presente capítulo, una descripción detallada del código del modelo puede ser consultada en el apéndice D. Probar un modelo consiste en un proceso que se centra en demostrar que en la ejecución del mismo no hay errores (Myers 2004, 5). El testeo de nuestro modelo se ha dividido en dos fases. La primera consiste en el chequeo del lenguaje de programación, lo cual ha resultado sencillo gracias a la existencia de un corrector de sintaxis, *syntax checker*, en NetLogo. La segunda fase del proceso refiere la elaboración de una caja blanca “*white box*” que consiste en testar partes de código de forma individualizada. Myers (2004: 11) considera que este método no es el más adecuado; no obstante, nosotros nos hemos decantado por él debido a que la caja negra “*black box*” suele utilizarse cuando no se conoce la totalidad del código mientras que las cajas blancas se utilizan cuando el código en su totalidad es conocido. Y, por ello, el testeador sabe como debe comportarse la parte del código aislada. Debido a que en este caso programador y testeador son una única persona, no hay duda que la utilización del “*white box*” es el método correcto.

Los programadores expertos desarrollan rutinas para comprobar el código, incluso existen los llamados inspectores de código (Myers 2004:24) que se dedican a la búsqueda de *bugs*. En nuestro caso la verificación del código se ha realizado manualmente mediante el aislamiento de partes de este para observar que funciona acorde al propósito de su programación. El testeo de nuestro modelo se centró en aquellas partes del código que podían presentar comportamientos erráticos, es decir, se aunaron los esfuerzos en testear la parte del código relacionada con las reglas de interacción, y aquella centrada en los resultados de salida, no obstante la mayor parte

del código fue aislado y testado. Una vez completada la fase del testeo se observó que el modelo funciona en consonancia con su diseño, así empezamos a explorar su comportamiento.

5.2.2 Número de simulaciones [experimento 1]

Este test de sensibilidad ha sido diseñado para determinar cuántas simulaciones son necesarias para que los datos obtenidos por el modelo sean válidos desde el punto de vista estadístico. Sobre el número de simulaciones mínimas existe numerosa bibliografía ya que es el primer problema con el que el investigador se encuentra cuando ejecuta su modelo. Antes de describir el experimento y los resultados cabe decir que previamente se realizaron pequeñas series de simulaciones informales – entre 5 y 25– en relación a la fase de programación.

La configuración del modelo en el experimento que nos atañe ha sido la siguiente:

a) La ratio de innovación utilizado ha sido 0.004. La utilización de un valor de error constante reside en el interés del experimento ya que lo que se pretende es establecer el número mínimo de repeticiones, y como se ha expuesto en la introducción del apartado se ha diseñado un experimento específico para determinar la afectación de μ .

b) El número máximo de *ticks* por simulación considerado ha sido 100. El hecho de utilizar este valor reside en dos cuestiones fundamentales: a) incrementar la rapidez del test de sensibilidad y b) debido a que este solo se ha centrado en la región del modelo más próxima al punto de origen –región 1– con 100 *ticks* tenemos más que suficiente para observar la tendencia general del modelo.

c) El umbral ecológico con el que se ha rodado nuestro primer experimento ha sido 5, es decir, en nuestro modelo de expansión solo aquellas celdas que tuvieran un valor igual o superior al umbral ecológico establecido pueden modificar su valor cultural. En nuestro caso hemos decidido establecer este valor debido a que en el ráster ecológico corresponde al mayor número

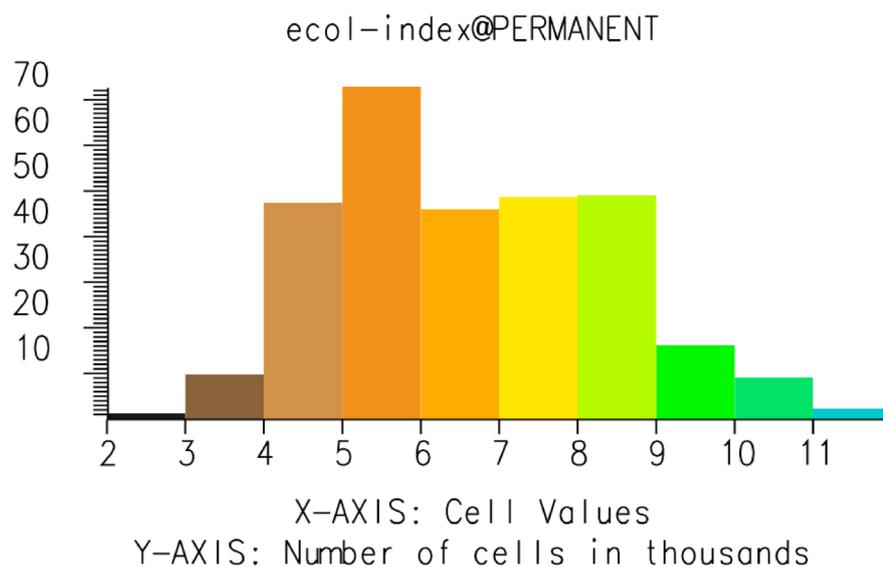


Figura 5.5 Representación del número de celdas asociadas a cada valor ecológico.
Figure 5.5 Representation of the number of cells associated with each ecological value.

de celdas como podemos observar en el siguiente histograma (figura 5.5).

d) Finalmente el último valor estable que hemos utilizado ha sido el valor cultural *–técnica–* que puede variar entre 0 y 9. Sobre este parámetro, como se ha planteado con anterioridad, se realizarán una serie de experimentos para observar si la modificación de este afecta a los resultados del modelo *–experimento 4–*.

Las variables utilizadas para decidir el tamaño óptimo de la muestra han sido el movimiento y el proceso de interacción. El experimento consistió en incrementar en múltiplos de 10 el número de simulaciones, hasta llegar a 150 repeticiones, para observar cuándo existe una estabilización de los resultados, repitiendo este proceso con cada una de las variables consideradas. Si el número máximo de simulaciones hubiera resultado insuficiente se habrían añadido más.

Los resultados del experimento 1 nos indican que en la mayoría de las configuraciones con un número de repeticiones relativamente pequeño *–50-80–* se pueden aceptar los resultados de nuestro modelo (figura 5.6). En este gráfico se presenta la media de la variable cultural en cada una de las repeticiones.

Por ejemplo, si se observa el gráfico D de la figura 5.6, que corresponde a los resultados de simular el movimiento frente de avance y el proceso de interacción de copiar al más antiguo podemos intuir que con un número pequeño de simulaciones *–20-30–* los resultados son representativos.

Para cada una de las seis configuraciones del modelo se realizaron 1200 repeticiones generándose el mismo número de *outputs*. El número total de simulaciones realizadas en este primer experimento asciende a 7200.

Aunque nuestra inspección de los gráficos podría ser suficiente para decidir el número de repeticiones que realizaremos en los experimentos diseñados, hemos aplicado un análisis estadístico para asegurarnos que nuestra decisión es la correcta, ya que algunos de los casos expuestos en la figura 5.6 presentan pequeñas fluctuaciones en la estabilización de la media. Este se ha llevado a cabo en dos etapas; en la primera de ella se ha realizado una ANOVA de un factor para contrastar la hipótesis nula $-H_0 = H_1-$ y en segundo lugar si esta no se cumple se realizará una comparación por pares utilizando pruebas t con desviación estándar agrupada.

En nuestro análisis ANOVA, la variable dependiente consiste en las medias del valor cultural de cada experimento, siendo la variable independiente el número de repeticiones. En la siguiente tabla (5.3) se presentan los resultados del análisis de la varianza para cada uno de las configuraciones realizadas.

Nuestro análisis de la varianza para cada una de las 6 configuraciones testeadas nos indica que no existe un efecto significativo de la variable dependiente en relación al número de repeticiones, así que estos resultados nos obligan a realizar otra aproximación estadística para comprobar si los valores arrojados en el presente experimento son válidos.

Debido a los resultados no significativos del análisis ANOVA, que por otro lado era de esperar, hemos realizado una exploración de los datos utilizando una comparación por pares,

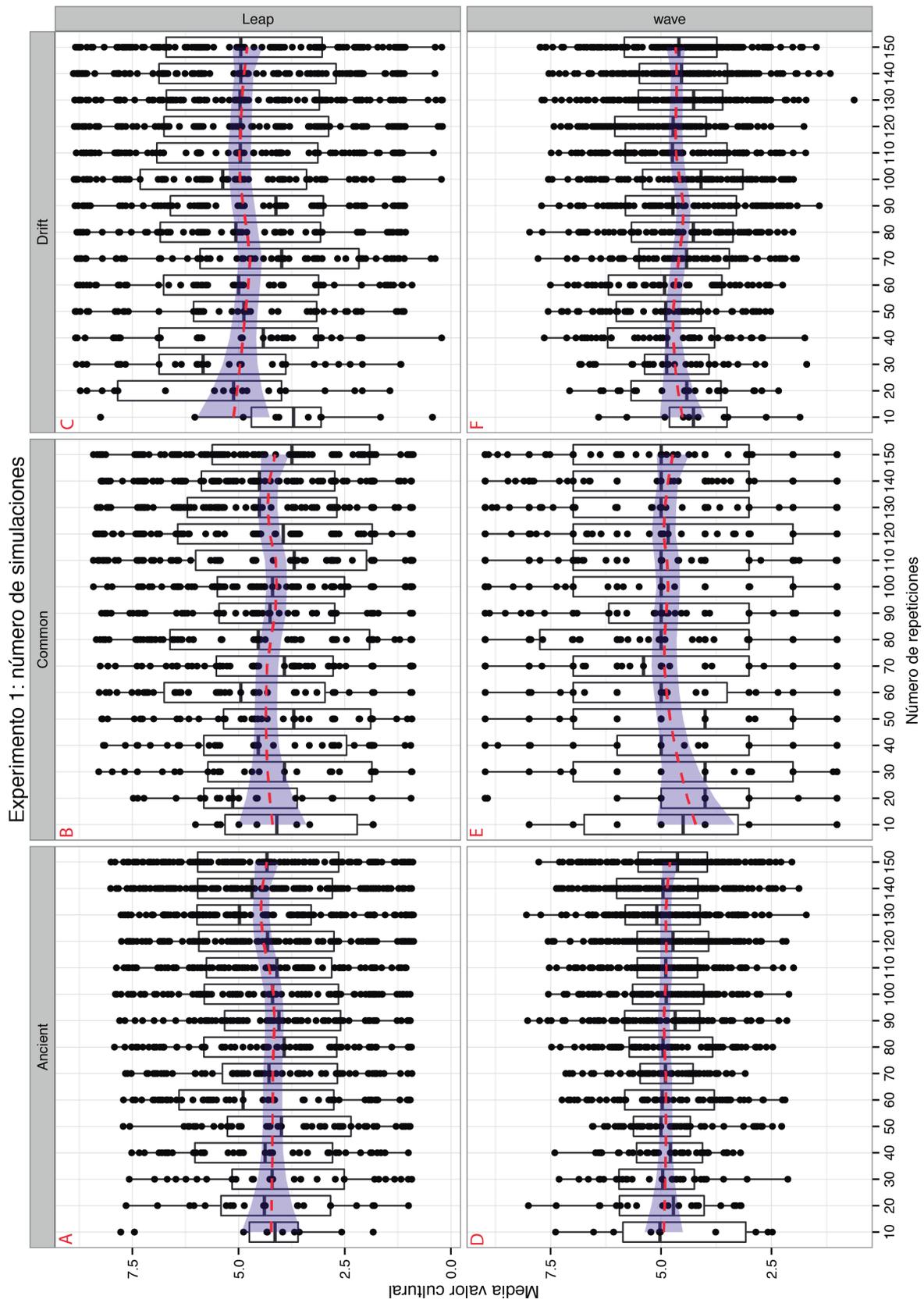


Figura 5.6 Resultados experimento 1: número de simulaciones

Figure 5.6 Experiment 1 results: number of simulations

	Anova	Degr. Of Free.	Sum of Sq.	Average of Sq.	F value	P-value (Pr>F)
Setup 1	Factor(runs)	14	38.66	2.7616	1.407	0.1422
	Residual	1137	2231.68	1.9628		
Setup 2	Factor(runs)	14	73.4	5.2451	0.9413	0.5131
	Residual	1137	6535.8	5.5724		
Setup 3	Factor(runs)	14	11.06	0.7897	0.5486	0.9046
	Residual	1137	1636.58	1.4394		
Setup 4	Factor(runs)	14	40.8	2.9147	0.78	0.6919
	Residual	1137	4248.4	2.3765		
Setup 5	Factor(runs)	14	71.6	5.1145	0.8446	0.6203
	Residual	1137	6884.9	6.0553		
Setup 6	Factor(runs)	14	44.7	3.1953	0.6478	0.8259
	Residual	1137	5608.5	4.9327		

Table 5.3 Resultados análisis de la varianza (ANOVA)
 Table 5.3 Analysis of Variance results (ANOVA)

pero aplicándole la corrección de Bonferroni que consiste en ajustar el nivel de significación en relación al número de pruebas realizadas (fórmula 5.4). Un magnífico ejemplo de aplicación de esta corrección puede consultarse en López-Gonzalez y Marquez-Linares (2004).

$$P(i) = \max_{j \leq i} \{ (m - j + 1) p(j) \}, \text{ donde } \{x\}_1 \min \equiv (x, 1)$$

Fórmula 5.4 Ajuste Bonferroni
 Formula 5.4 Bonferroni correction

donde α corresponde al intervalo de confianza considerado en nuestra ANOVA –0.05– y k corresponde al número de comparaciones por pares. En nuestro caso el número de comparaciones por pares realizadas asciende a 105 siendo nuestro intervalo de confianza corregido es $0.005 / 105 \rightarrow \alpha' = 0.000476$.

La aplicación del ajuste Bonferroni resulta interesante ya que se rechaza la hipótesis nula; en todo el conjunto analizado el valor no ajustado más pequeño de nuestro conjunto p -value es menor o igual a α' .

En conclusión, la realización de los tests nos indica que los resultados son estadísticamente equivalentes, con independencia que utilicemos 10 repeticiones o 150. No obstante, hemos decidido ser prudentes en nuestra selección del tamaño. Se considera pues un método muy prudente ya que su tendencia conduce a rechazar muy pocas hipótesis individuales en el conjunto de las simulaciones (Lengrede y Lengrede 1998, 18). De este modo hemos llegado a la conclusión que el número óptimo de repeticiones es 100.

5.2.3 Tiempo NetLogo versus tiempo arqueológico [experimento 2]

El siguiente test de sensibilidad ha sido diseñado para determinar el valor de los *ticks* de nuestro modelo de expansión cultural en años arqueológicos dado que la cuestión resulta de vital importancia para poder comparar posteriormente los resultados del modelo virtual con los

resultados arqueológicos, es decir, la determinación de la relación *ticks-años* permitirá tratar los archivos virtuales para adaptarlos a las ventanas temporales que deseamos investigar.

Nuestro modelo presenta un submodelo centrado en la recopilación del valor de llegada del Neolítico en aquellas celdas donde existen yacimientos arqueológicos –archivo shapefile previamente cargado–. De este modo debemos solucionar dos aspectos; a) qué fechas radiocarbónicas utilizar y b) cómo compararlas para obtener dicha relación.

Por lo que respecta a la primera problemática ya ha quedado patente nuestra postura en torno a las dataciones radiocarbónicas en el capítulo 2, consisten en la preferencia por utilizar muestras realizadas sobre elementos de vida corta siempre que sea posible. Para este experimento no se han incorporado todas las fechas conocidas en el Mediterráneo occidental dado que no es nuestro propósito observar la correlación entre las dataciones y la llegada del Neolítico. Las fechas utilizadas en este experimento (tabla 5.4) se han seleccionado basándose en dos criterios fundamentales: datación radiocarbónica sobre vida corta más antigua del área donde se sitúa. Por lo que respecta al yacimiento de Ifri Oudadane, hemos considerado conveniente utilizar las dos fechas para realizar la relación *tick* - año.

Site	Region	lat(y)	long(x)	Lab	BP	SD	Mean68	Mean95
Almonda (adorno)	23	39.5075	-8.42306	OxA9287	6445	45	7373	7430
Arene Candide (Hordeum)	7	44.16181	8.32667	Beta110542	6830	40	7652	7662
Caf Taht el Ghar (cereal)	22	35.30436	-5.194422	Ly971	6350	85	7296	7432
Cariguela (bos)	19	37.50993	-3.38073	Col1565	6749	39	7615	7674
Chaves (ovis)	32	42.39321	-0.18652	GrN38022	6580	35	7468	7563
Cova den Pardo (ovicaprino)	17	38.81519	-0.29837	Beta231879	6610	40	7513	7568
Favella (hueso)	1	39.68402	16.450378	Ltl778A	7003	55	7859	7942
Ifri Oudadane (cereal)	22	35.13216	-3.134019	Beta318608	6140	30	7057	7158
Ifri Oudadane (lens)	22	35.13216	-3.134019	Beta295779	6740	50	7613.5	7679
Les Guixeres (ovis)	13	41.4464	1.6063	OxA26068	6655	45	7537.5	7593
Nerja (ovis)	19	36.76389	-3.84242	Beta131577	6590	40	7495.5	7565
Peña Larga (ovis)	31	42.61429	-2.51469	Beta242783	6720	40	7570	7664

Tabla 5.4 Dataciones radiocarbónicas utilizadas en el experimento 2⁶⁹

Table 5.4 Radiocarbon dates used in experiment 2⁶⁹

En segundo lugar la relación se ha materializado mediante la división entre las diferencias de la media calibrada del punto de origen y llegada con la media del valor *ticks* de las repeticiones; esta división formalmente se expresa con la siguiente fórmula (5.5):

$$A = \frac{P_o - P_d}{T_d}$$

Fórmula 5.5 Relación tick-año
Formula 5.5 Tick-year relation

⁶⁹ En azul se marca aquella datación que se ha considerado el punto de origen. Una vez realizado los experimentos previos conocimos las dataciones realizadas sobre vida corta de los yacimientos del Sur de Francia (Peiro Signado y Pont Roque-Haute). Estas no han sido utilizada en el presente experimento.

donde P_0 corresponde a la media calibrada de la datación del punto de origen y P_d a la del punto de llegada, y T_d hace referencia a la media de *ticks* del punto de llegada en las k repeticiones.

En este segundo experimento la configuración⁷⁰ del modelo presenta el mismo umbral ecológico utilizado en el caso anterior y las variables que han sido testadas son el movimiento y la distancia de salto. Sobre esta segunda solo hemos tenido en cuenta dos valores –25 y 30– que corresponden en la realidad a 125 y 150 Kilómetros concretamente. Para cada una de las tres configuraciones del modelo se realizaron 100 repeticiones generándose 3 archivos de datos que recopilan la información por cada experimento. El número total de simulaciones realizadas en este experimento asciende a 300.

Los resultados del experimento 2 se presentan en la siguiente tabla (tabla 5.5) donde se observa la relación *ticks-años* según la configuración del modelo. La tabla superior –Escenario radiocarbónico A– representa los cálculos utilizando la datación realizada sobre cereal del yacimiento de Ifri Oudadane, mientras que la inferior –Escenario radiocarbónico B– muestra los resultados si se utiliza la datación sobre lenteja del mismo yacimiento.

Modelo cronológico A

Experiment/Calibration	tick-year A	Probability 95% A	
Leap-Frog d25 (1sigma)	4.6272284 ± 1.35394	2.794074876	6.460381923
Leap-Frog d25 (2sigma)	4.8194654 ± 1.28735	3.162195377	6.476735422
Leap-Frog d30 (1sigma)	5.0832901 ± 1.59637	2.53489293	7.63168727
Leap-Frog d30 (2sigma)	5.2773187 ± 1.45317	3.16558837	7.38904905
Wave advance (1sigma)	0.8126648 ± 0.174821	0.78210242	0.84322732
Wave advance (2sigma)	0.8851308 ± 0.262314	0.81632197	0.95393984

Modelo cronológico B

Experiment/Calibration	tick-year B	Probability 95% B	
Leap-Frog d25 (1sigma)	4.102712 ± 1.08029	2.93568551	5.26973848
Leap-Frog d25 (2sigma)	4.328409 ± 1.12493	3.06294149	5.5938765
Leap-Frog d30 (1sigma)	4.484224 ± 1.18786	3.07317486	5.895275
Leap-Frog d30 (2sigma)	0.925442 ± 1.14713	-0.3904825	2.2413685
Wave advance (1sigma)	0.8126648 ± 0.174821	0.78210242	0.84322732
Wave advance (2sigma)	0.8851308 ± 0.262314	0.81632197	0.95393984

Tabla 5.5 Resultado correlación *tick-año*

Table 5.5 Tick-year correlation results

A la vista de los resultados tres aspectos merecen nuestra atención; en primer lugar, y con independencia del modelo radiocarbónico utilizado, la relación entre *tick* - año cuando llevamos a cabo en nuestro ABM una expansión de ola de avance es 1 *tick* = 1 año. Por otro lado si se simula mediante un movimiento de *leapfrog* con una distancia de salto de 25 la relación se sitúa en 1 *tick* = 3 a 6 años, en ambos escenarios radiocarbónicos –A y B–. Finalmente por lo

70 En este experimento las variables culturales no afectan a los resultados, ya que éste submodelo no las tiene en cuenta.

que respecta al movimiento *leapfrog* con una distancia de salto 30, la relación es 1 *tick* = 1 a 5 años para el escenario B, 1 *tick* = 3 a 8 en el escenario A.

Como se ha plasmado en las líneas anteriores existen problemas en las dataciones provenientes del yacimiento de Ifri Oudadane de forma que nos hemos decantado por utilizar los resultados arrojados por el escenario radiocarbónico A con una calibración a 1 sigma. A modo de resumen esto implica que si utilizamos el movimiento ola de avance⁷¹ la relación es:

1 *tick* = 1 año

Mientras que esta relación en movimiento *leapfrog* con una distancia de 25 es:

1 *tick* = 3 a 6 años

Finalmente, si utilizamos el movimiento *leapfrog* con una distancia de 30 la relación es:

1 *tick* = 3 a 8 años

5.2.4 Número máximo de ticks por repetición [experimento 3]

Los archivos de salida obtenidos en el experimento anterior se han utilizado para determinar el número máximo de *ticks* necesarios –experimento 3a– con el fin de disponer de la información suficiente para dividir los *outputs* del modelo en las ventanas temporales que deseamos investigar. Como se ha descrito en el experimento anterior el archivo de salida almacena el *tick* de llegada del Neolítico en cada una de las 100 repeticiones. Así que la exploración de estos resultados nos permite establecer el número máximo de *ticks* que necesitará nuestro modelo de expansión cultural.

Resulta incoherente utilizar los resultados de todos los yacimientos en su conjunto ya que nuestra intención es conocer el tiempo que necesita el proceso para llegar al área situada más al occidente de nuestro mundo. Así que la pregunta es obvia, ¿Qué yacimiento o yacimientos utilizar para establecer el número máximo de *ticks*? Para visualizar correctamente esta cuestión hemos representado en un gráfico de bigotes (figura 5.7) los resultados de las simulaciones.

En rojo se han marcado aquellos yacimientos que han dado un valor más elevado de llegada y por consiguiente permiten establecer el número máximo de *ticks*. Un análisis detallado del gráfico proporciona unas cuestiones interesantes: a) el valor de la variable *run-max* de nuestro modelo de expansión cultural variará según el movimiento que se simule, es decir, si se comparan los valores de llegada entre la expansión de ola de avance y *leapfrog* se observa que el primero tiende a necesitar mucho más *ticks* para completar el proceso de expansión; b) la variación del valor de llegada es elevada con independencia del tipo de movimiento simulado.

Con todo esto, unido a los resultados de valor del *tick* en años arqueológicos obtenidos en el experimento anterior, estamos en disposición de establecer cual es el valor de *run-max* necesario para disponer de la información virtual acorde a las ventanas temporales consideradas.

71 Para calcular la relación *tick* - año las dataciones radiocarbónicas de contextos africanos no han sido consideradas ya que este movimiento nunca llegará al continente africano debido a que la navegación no está implementada.

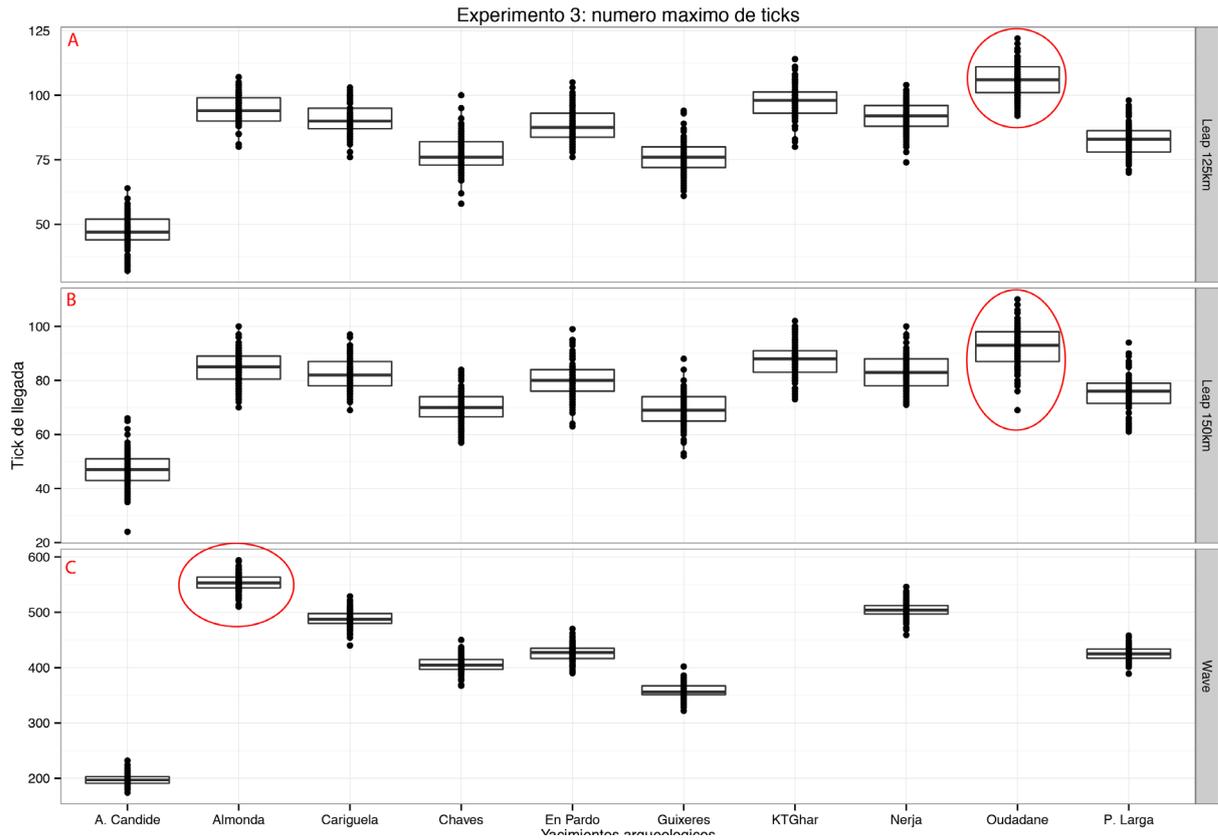


Figura 5.7 Resultados experimento 3a: número máximo de ticks
 Figure 5.7 Experiment 3a results: maximum number of ticks

En el experimento anterior hemos concluido que la relación *tick* - año cuando se utiliza el movimiento ola de avance corresponde a 1, así que al menos necesitamos archivos de salida que tengan 400 *ticks*. Si volvemos a la figura 5.7c observamos que el valor de llegada se sitúa en el yacimiento de Almonda entre 500-600 *ticks*. Así que para disponer de *outputs* que contengan los cuatrocientos años deseados hemos decidido dotar al parámetro max-run un valor de 1000 cuando se simula el proceso de expansión con ola de avance.

Por el contrario, si observamos el valor de llegada del yacimiento Ifri Oudadane en los casos donde la simulación se ha realizado con movimiento *leapfrog* vemos que varía entre 70-125 *ticks*. Cabe recordar que el experimento previo indicaba que, con independencia de la distancia de salto utilizada –25 o 30–, el valor mínimo de un *tick* corresponde a 3 años. Así pues, para disponer de archivos de salida que contengan los 400 años deseados debemos dotar al parámetro max-run de un valor en torno a los 400 *ticks* es suficiente.

Por otro lado, una vez realizada la primera serie de resultados nos planteamos si la modificación de la ratio de mutación influye en el valor de *ticks* necesarios para obtener los años deseados. En el experimento 2 se ha establecido que *a priori* este no afecta a los resultados del submodelo de expansión. No obstante hemos realizado un nuevo experimento para contrastar esta afirmación. La configuración del modelo es la misma que en el experimento previo –Ex-

perimento 3a–, pero estableciendo tres valores distintos para la ratio de innovación -0.004 , 0.064 y 0.1 – y realizando solo 20 repeticiones. En el siguiente gráfico mostramos los resultados obtenidos con este experimento; los yacimientos representados son aquellos que han proporcionado un tiempo de llegada más elevado en la prueba anterior –Experimento 2, Almonda e Ifri Oudadane–.

Como podemos observar en la figura 5.8 el tiempo de llegada a los sitios arqueológicos se mantiene en los rangos establecidos en el experimento 3a, con independencia que se modifique el valor de μ . Si nos centramos en la media y su desviación típica podemos visualizar que existe una estabilización de los resultados de forma que la pequeña fluctuación debe asociarse a la presencia de *outliers*.

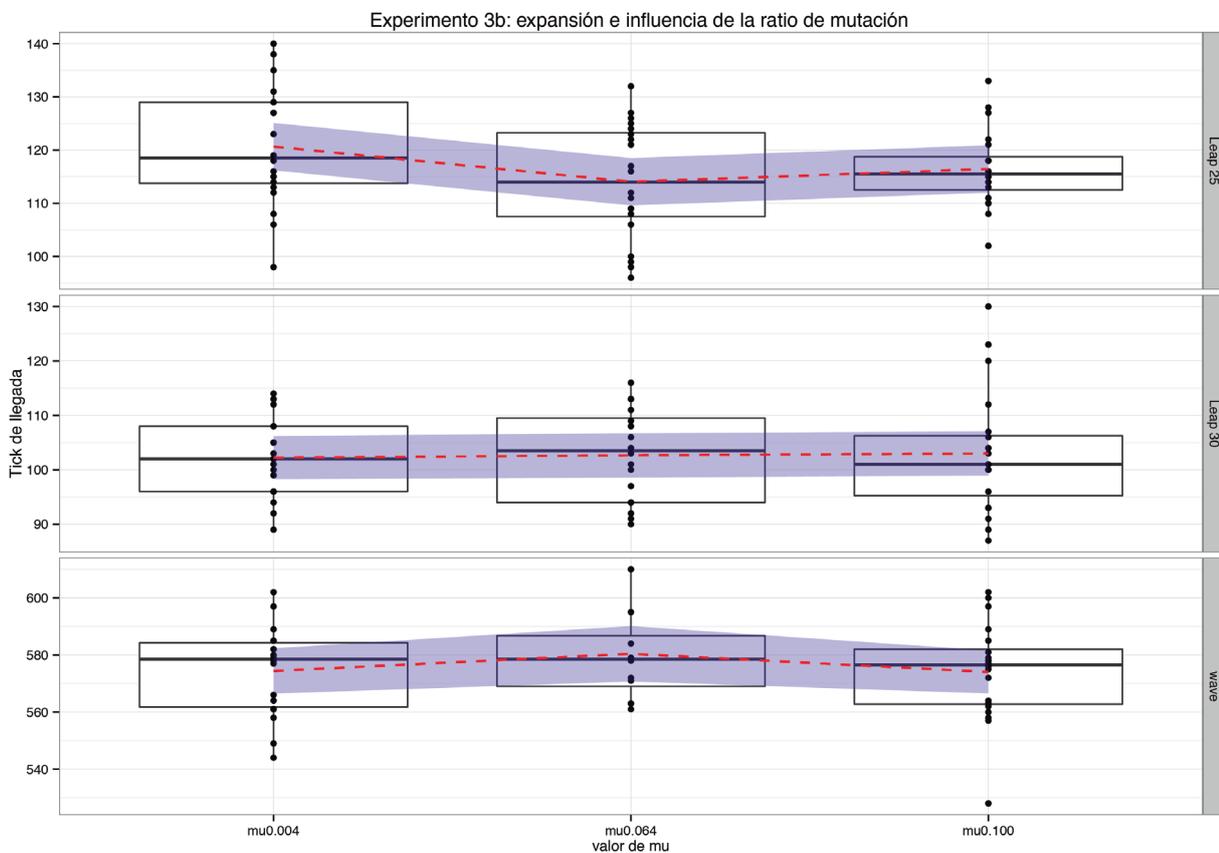


Figura 5.8 Resultados experimento 3b: expansión e influencia de la ratio de mutación

Figure 5.8 Experiment 3b results: spread and influence of the ratio of mutation

En definitiva, y a tenor de los resultados obtenidos en ambos experimentos –a y b–, se vislumbran dos conclusiones; en primer lugar el valor *run-max* debe establecerse en relación al movimiento simulado. Si deseamos investigar una expansión por frente de avance el número máximo de *ticks* que se simulará será 100, mientras para el movimiento *leapfrog* el parámetro *run-max* tendrá un valor de 400. En segundo lugar no hay duda que el ratio de mutación considerado no afecta a la velocidad de expansión.

5.2.5 El parámetro cultural “técnicas” [experimento 4]

El parámetro técnicas hace referencia al valor máximo asociado a cada una de las celdas de nuestro modelo de expansión cultural en su variable cultural. Se trata de un número elegido aleatoriamente entre 0 y el valor máximo⁷² definido por el usuario en la interfaz del modelo.

El presente experimento se ha diseñado para examinar si la modificación del valor máximo vinculado a la variable cultural influye en los resultados del modelo. Para este propósito la configuración del modelo presenta los siguientes parámetros:

a) El umbral ecológico en el que se ha rodado el experimento ha sido 5, ya que como hemos justificado en el primer experimento es el valor con más presencia en nuestro ráster ecológico –*vid* figura 5.5–.

b) Por lo que atañe al número máximo de *ticks* hemos considerado establecer un valor fijo, en este caso 400 *ticks*. La razón reside en que el enfoque de este experimento no es obtener archivos de salida con suficiente información sino observar la influencia del parámetro técnicas en los resultados virtuales. El valor μ utilizado ha sido 0.004 y 0.064. Los movimientos corresponden a la modelización de la ola de avance y el *leapfrog* con una distancia de salto de 25 celdas.

Finalmente se ha decidido rodar el modelo utilizando tres valores diferentes para el parámetro técnica, 3, 10 y 30. La selección de estos se debe a cuestiones de sensibilidad; se ha decidido seleccionar dos valores extremos 3 y 30 así como un valor central para observar cual es su influencia en los resultados del modelo. El número total de simulaciones realizadas en este experimento ascienden a 1200.

Una vez efectuada la simulación y obtenidos los archivos de resultados, estos deben ser estandarizados para convertirlos en datos comparables. Este proceso de estandarización ha consistido en dos fases:

a) En primer lugar se ha calculado la media para cada valor del parámetro técnicas y por archivos –es decir, para cada una de las regiones del modelo–. Para este propósito se ha programado un *scrip* que permite llevar a cabo esta acción de forma automatizada.

b) En segundo lugar, se ha procedido a hacer un análisis de semejanza para cada grupo de técnicas –3, 10 y 30–. Este cálculo se ha realizado mediante la aplicación del coeficiente de *Brainerd-Robinson*, que como hemos expuesto al inicio del presente capítulo permite calcular matrices de semejanza. El cálculo del coeficiente BR se ha realizado aplicando el *scrip* programado por M. Peeples (2011), y disponible en su página web.

Una vez calculadas las matrices de distancias para cada grupo de técnicas se ha procedido a compararlas a partir de la aplicación del test de Mantel (figura 5.9).

72 Debe remarcar que el funcionamiento de los números aleatorios en NetLogo es el siguiente: siempre reportará un valor igual o mayor a 0 pero menor que el número definido. Por ejemplo, si en nuestro slider el valor es técnicas = 5; el valor cultural que define a las celdas se sitúa entre 0 y 4.

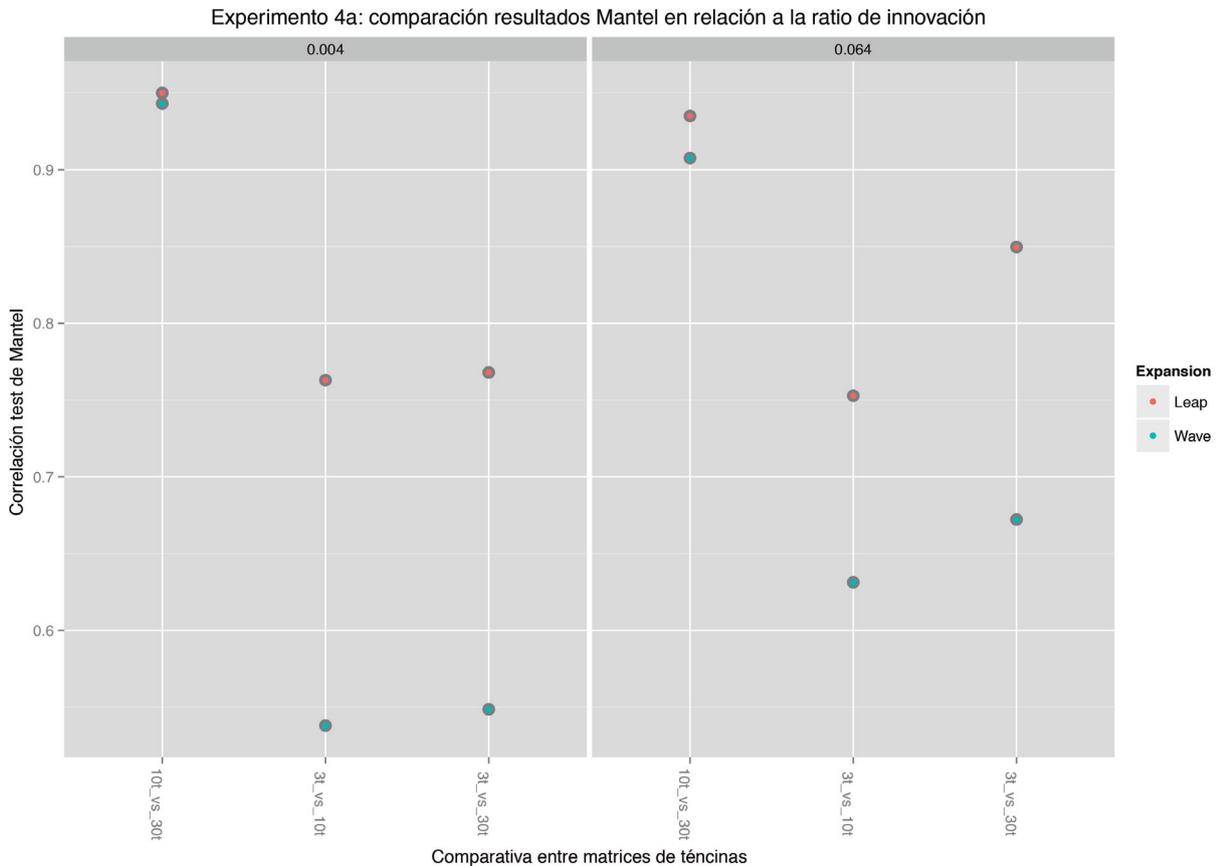


Figura 5.9 Resultados experimento 4a: comparación del test de mantel

Figure 5.9 Experiment 4a results: Mantel test comparison

Dos cuestiones debemos remarcar; en primer lugar que las correlaciones más altas, > 0.9 , coinciden con la comparación de las matrices de semejanza –10 y 30 técnicas–, con independencia del tipo de movimiento utilizado y valor de μ . Y en segundo lugar, los resultados obtenidos con la simulación del movimiento *leapfrog* arrojan valores de correlación más elevados $\rightarrow 0.7$ –. Estos resultados nos indican que con independencia del valor de μ y el proceso de expansión simulado, los resultados obtenidos con 10 o 30 técnicas son estadísticamente muy similares.

Aunque los resultados vislumbran el comportamiento del modelo si hay una modificación del parámetro técnicas, debemos plantearnos si obtendríamos resultados similares si incrementamos notablemente el valor de μ . Para contestar a esta cuestión, hemos realizado un “sub-experimento” donde se ha parametrizado el modelo con los mismos valores que el experimento previo, con excepción del valor μ que se ha fijado en 0.5 y hemos representado los valores en el siguiente gráfico (figura 5.10).

Al igual que el experimento anterior, solo la comparación de las matrices de semejanza asociadas a 10 y 30 técnicas arrojan valores de correlación >0.9 con independencia del valor del μ y el tipo de expansión. Este segundo experimento nos permite concluir que la ratio de mutación no influye en los resultados. Es decir, de los tres grupos de técnicas comparadas las mejores correlaciones $\rightarrow 0.9$ – corresponden a la comparación entre 10 y 30 técnicas. También

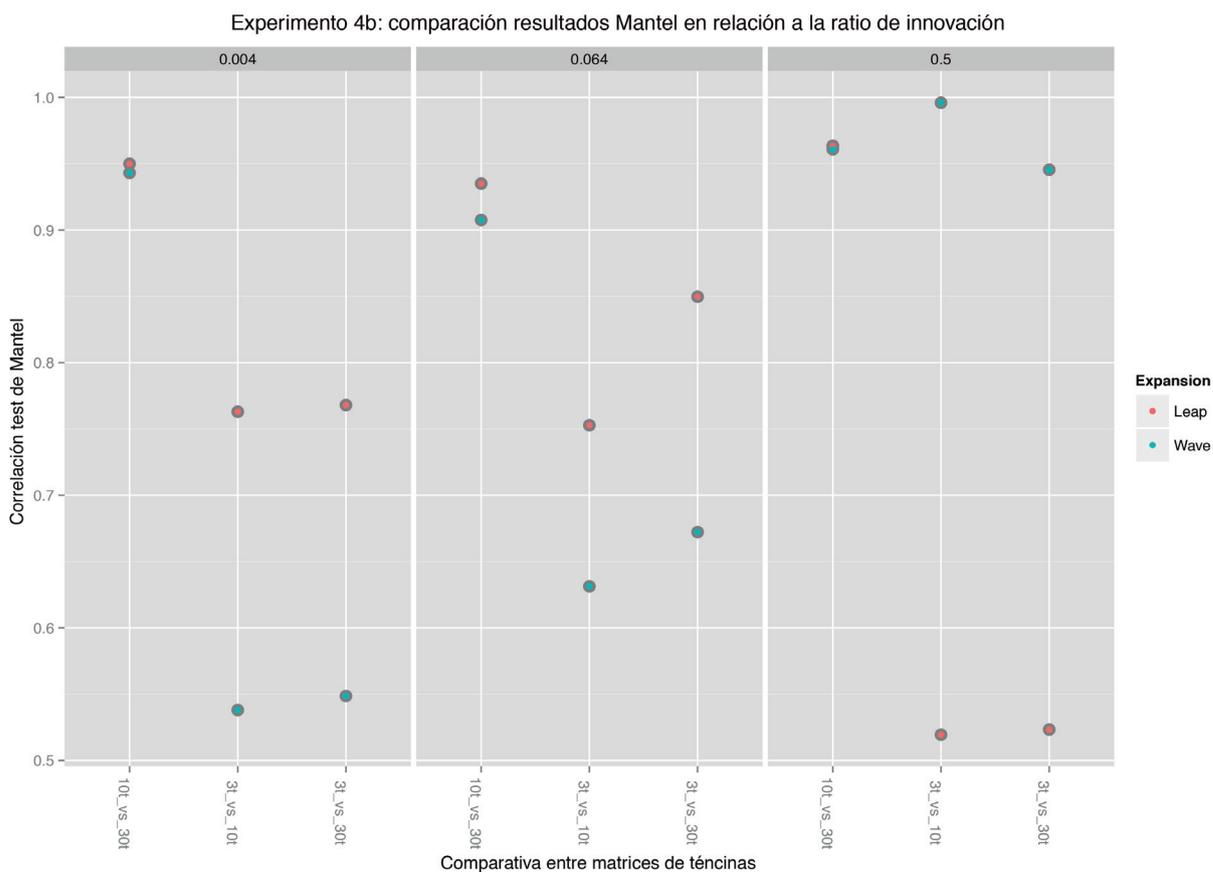


Figura 5.10 Resultados experimento 4b: comparación del test de mantel

Figure 5.10 Experiment 4b results: Mantel test comparison

se puede intuir que la simulación aplicando un valor alto de μ –0.5– implica mucha más correlación entre las matrices comparadas.

A partir de los resultados obtenidos estamos en disposición de decidir qué valor del parámetro técnicas utilizaremos en la siguiente serie de simulaciones. En este sentido, no hay duda que los resultados tienden a ser iguales con independencia que se utilice un valor 10 o 30. De este modo nos hemos decantado por establecer el valor del parámetro técnicas = 30. Esta decisión se debe a que es el valor que más se aproxima al total de variables culturales que hemos codificado en el registro arqueológico; cabe decir que somos conscientes en todo momento que la utilización de un valor alto de técnicas afecta directamente en el tiempo de computación necesario para realizar nuestros experimentos.

5.2.6 La ratio de mutación [experimento 5]

El experimento número 5 y que desarrollaremos a continuación está centrado en investigar la variable la ratio de mutación. Este consiste, como se ha visto en el capítulo teórico, en implementar en nuestro modelo una ratio de error en la copia de la variable cultural por parte de los agentes. En este experimento la cuestión principal que queremos contestar es: si los valores de μ elegidos para simular el experimento arroja resultados similares, o bien las diferencias son notorias.

La configuración del modelo en el experimento que nos atañe ha sido la siguiente:

a) La rutina de parar la simulación, variable *run-max*, se ha modificado acorde al movimiento que se simule, es decir, en aquellos experimentos donde la expansión se efectúe a partir del movimiento *leapfrog*, el valor del número máximo de *ticks* por repetición asciende a 400, mientras que si el movimiento asociado al proceso de expansión cultural es ola de avance el valor *run-max* se sitúa en 1000.

b) El valor técnica que utilizaremos en esta serie de simulaciones corresponde a 30, de forma que la variable cultural de nuestro modelo de expansión cultural puede estar caracterizada por un número situado entre el rango 0 a 29.

c) El umbral ecológico en el que se ha rodado el experimento ha sido 5, es decir, en nuestro modelo de expansión solo aquellas celdas que tengan un valor igual o superior al umbral ecológico establecido pueden modificar su valor cultural, cuestión que ya ha sido justificada en el primer experimento.

d) Finalmente, los valores de la ratio de innovación utilizados han sido 0.004, 0.008, 0.016, 0.032, 0.064. La razón de utilizar valores de *mu* pequeños reside en que la mayoría de los trabajos publicados hasta la fecha tienden a definir la variable μ con valores cercanos al 0; incluso en un trabajo reciente Bentley y sus colegas establecen que la ratio de mutación debe situarse en valores no superiores al 0.1 (2011, 540).

Para cada uno de los escenarios diseñados se realizaron 100 repeticiones generándose un total de 4500 simulaciones.

Una vez obtenidos los resultados, un total de 1629 archivos, hemos seguido el mismo protocolo que en el experimento anterior para poder comparar los resultados. Es decir, estandarizar los datos, aplicarles el cálculo del coeficiente de BR, y finalmente realizar el test de Mantel para comparar las matrices de semejanza y obtener su grado de correlación –entre diferentes valores de *mu*–. Cabe añadir, que en este experimento no se han dividido los archivos según las ventanas temporales que deseamos. La razón reside en que deseamos observar si existen diferentes valores de μ que arrojan los mismos resultados. Los resultados pueden visualizarse en el siguiente gráfico (figura 5.11).

Como se observa en la figura 5.11 existe una gran variabilidad en los resultado de R obtenidos a partir del coeficiente *Brainerd-Robinson*. La correlación entre las matrices presenta diferentes grados de variación, según el proceso de expansión e interacción simulado. Resulta interesante el hecho que las correlaciones más altas, todas superan el $R = 0.8$, corresponden al escenario ola de avance y copia del valor cultural más común. Por el contrario, las peores correlaciones son las arrojadas por el escenario ola de avance y copia del valor cultural más antiguo, donde solo tres casos superan el 0.3. Finalmente por lo que respecta al movimiento *leapfrog*, todos los valores de R superan el 0.5 con independencia del proceso de interacción simulado.

A partir de los resultados obtenidos estamos en disposición de decidir que no resulta

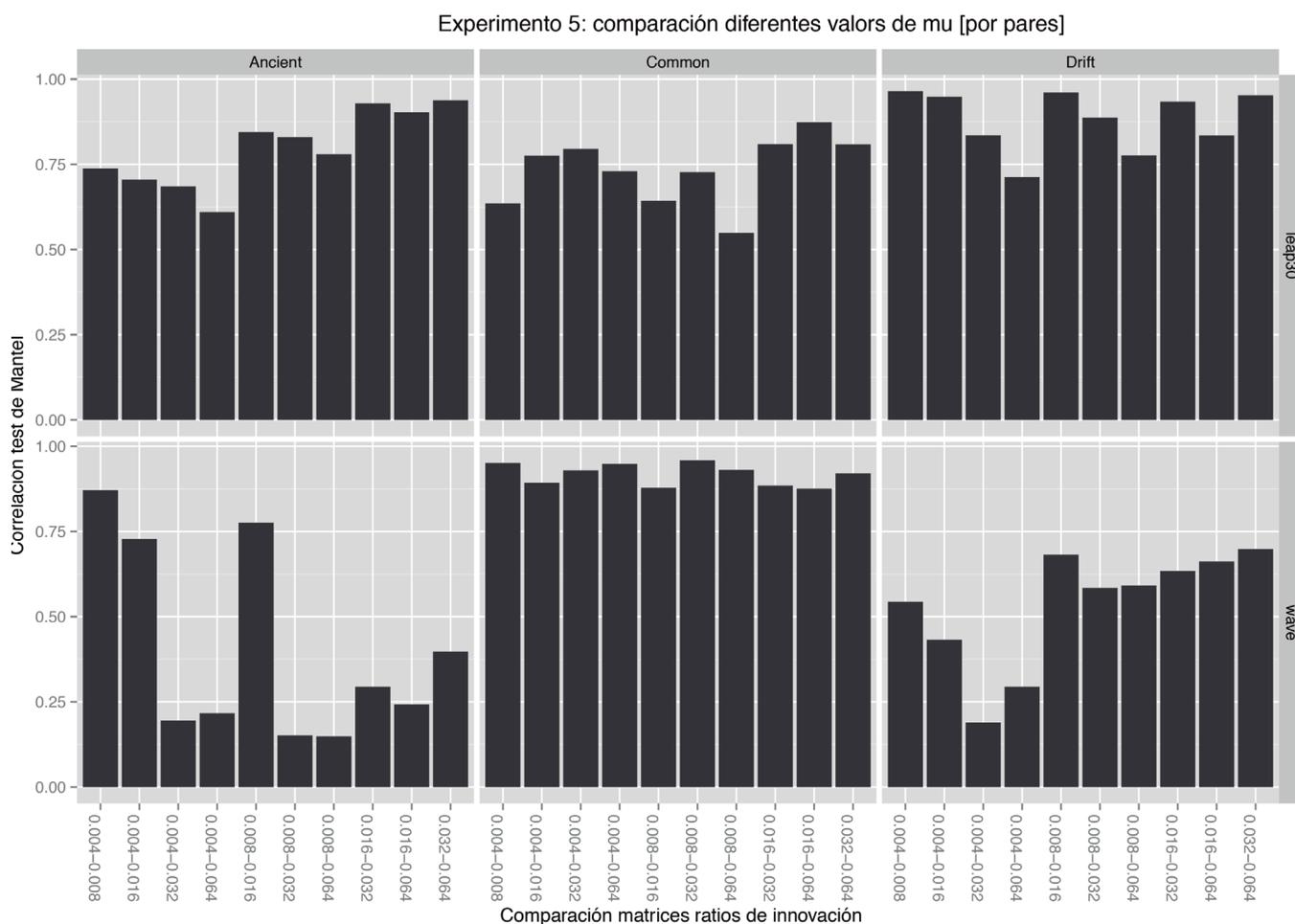


Figura 5.11 Resultados experimento 5: influencia de la ratio de mutación

Figure 5.11 Experiment 5 results: influence of the ratio of mutation

aconsejable descartar ningún valor de μ debido en primer lugar a la gran variedad de valores obtenidos. Y, en segundo lugar los resultados arrojados por el proceso de interacción varía considerablemente según el proceso de expansión asociado, siendo el ejemplo más claro la simulación de la copia del valor cultural más común.

5.2.7 El valor ecológico [experimento 6]

Como ya se ha comentado a lo largo de la presente Tesis Doctoral, nuestro modelo de expansión cultural se ha implementado sobre una base geográfica realista que representa un índice de productividad agrícola –basado en el cultivo del trigo–. En el experimento que nos atañe queremos examinar si la modificación del umbral ecológico influye en los resultados de nuestro modelo de agentes.

En este experimento se ha utilizado el submodelo centrado en el proceso de expansión del Neolítico y la configuración ha sido la siguiente:

a) Sobre el tipo de movimiento se ha simulado tanto el proceso de ola de avance como el *leapfrog*; y en el caso del segundo la distancia de salto simulada ha sido 25 y 30, que como se ha comentado para el experimento 2, corresponden a 125 y 150 kilómetros reales.

b) Finalmente, los límites ecológicos utilizados han sido 3, 4, 5 y 6. Así que han sido simulados un total de 12 escenarios posibles repetidos 100 veces, llegándose a un total de 1200 simulaciones.

Como se ha observado en el experimento 2, cada *tick* del modelo representa el tiempo en la simulación, mientras que las dataciones radiocarbónicas muestran el tiempo arqueológico. De este modo nos hemos decantado por comparar el tiempo de llegada a cada yacimiento calculando la R de Pearson para cada media radiocarbónica –datación BP– de los yacimientos arqueológicos y el valor de llegada del Neolítico de nuestro modelo. El hecho de comparar el tiempo de simulación, que se incrementa a cada paso, y las fechas radiocarbónicas, que tienen un comportamiento inverso, implica que las correlaciones negativas indican mejores resultados. Los resultados pueden visualizarse en el siguiente gráfico (figura 5.12).



Figura 5.12 Resultado experimento 6: el parámetro ecológico

Figure 5.12 Experiment 6 results: ecological parameter

Como podemos examinar en el gráfico superior, los valores de R se sitúan en torno al -0.5 con excepción del escenario ola de avance con umbral ecológico 6, que arroja un valor cercano al -0.13. Un análisis detallado del gráfico nos permite observar que en los escenarios donde se ha simulado el movimiento *leapfrog*, con independencia de la distancia de salto, las mejores correlaciones se asocian a valores ecológicos altos –5 y 6–, mientras que los valores de la R de Pearson son más altos cuando la expansión simulada es la ola de avance corresponde a 3 y 4.

Los resultados obtenidos, y el hecho que la ecología no influya en los procesos de interacción o copia de nuestro modelo afectando solo a la velocidad del proceso de expansión del Neolítico, implica la utilización de un umbral situado entre 4 y 6. En este sentido, la decisión que hemos tomado ha sido utilizar un umbral ecológico de 5 debido a tres cuestiones fundamentales: a) Este corresponde a la media de los mejores valores ecológicos arrojados por el experimento. b) Corresponde al valor más representado en nuestro mapa ecológico, *vid.* histograma 5.5. c) como ya se ha planteado, la ecología no afecta a la cuestión que queremos explorar con la construcción de nuestro AMB, que corresponde a la expansión cultural. No obstante cabe decir que la ecología si afecta a las cuestiones demográficas –número de parcelas disponibles para la expansión– y esta, la variable demográfica, afecta a los resultados.

VIRTUAL RESULTS

As has been established in the course of the present work, the aim of this investigation is to discover whether the cultural hitchhiking hypothesis could provide a plausible explanation for the known ceramic record of the first Neolithic in the western Mediterranean. The work has been divided into three main parts: Chapter 2 involved gathering all the archaeological information associated with our aim; in the next stage we designed and programmed an agent-based model following the theoretical foundation developed in Chapters 3, 4 and 5; and finally the third stage contained in Chapters 6 and 7 is to analyse all the information gathered, both virtual and real.

6.1 Model effects

In this section we present the model effects for the spread of the Neolithic culture. Like in the previous chapter –see 5.2.2: number of simulations–, we decided to use 100 repetitions for each of the scenarios created to ensure that they would be statistically representative. However, a lower number of simulations –10 repetitions– would have been sufficient for us to accept the results, a matter proven statistically by carrying out an ANOVA –see experiment 1–.

Table 6.1 shows all the experiments carried out for each configuration of the model associated with a leapfrog movement with a distance of 25 cells. It can be seen that the scenario with the “most ancient” copycat process –associated with an innovation rate of 0.064– and the “most common” copycat process –with a μ value of 0.008– present a lower number of simulations at the desired value. This is due to the fact that there may have been something wrong with the multiprocessor used, which issued no error message but informed us when the work was finished.

Process			
μ	<i>Ancient</i>	<i>Common</i>	<i>Drift</i>
<i>0.004</i>	100	100	100
<i>0.008</i>	100	60	100
<i>0.016</i>	100	100	100
<i>0.032</i>	100	100	100
<i>0.064</i>	36	100	100

Table 6.1: Number of experiments carried out with leapfrog 25

We can see in Table 6.1 that the “common” scenario with a μ of 0.008 presents a total of 60 repetitions, and we therefore have no doubt that the results obtained are representative. In the case of the “most-ancient” scenario with a μ of 0.064, the number of repetitions obtained is far lower –36 out of 100– which makes us wonder whether the results obtained in this configuration of the model can be used in the investigation. Considering the results obtained in the analysis of variance –see experiment 1–, we are inclined to accept the results.

Table 6.2 presents the total experiments carried out for each configuration of the model associated with a leapfrog movement with a distance of 30 cells. We can see that the scenario with the “most common” copycat process, “hitchhiking-common” with a μ value of 0.008, presents a lower number of simulations at the desired value. However, due to the fact that this scenario presents a total of 88 repetitions, there can be no doubt that the results obtained are representative.

Process			
μ	<i>Ancient</i>	<i>Common</i>	<i>Drift</i>
<i>0.004</i>	100	100	100
<i>0.008</i>	100	88	100
<i>0.016</i>	100	100	100
<i>0.032</i>	100	100	100
<i>0.064</i>	100	100	100

Table 6.2: Number of experiments carried out with leapfrog 30

As far as the 15 scenarios associated with the wave-of-advance movement are concerned (table 6.3), no problems arose and therefore they all present results associated with 100 repetitions.

Process			
μ	<i>Ancient</i>	<i>Common</i>	<i>Drift</i>
<i>0.004</i>	100	100	100
<i>0.008</i>	100	100	100
<i>0.016</i>	100	100	100
<i>0.032</i>	100	100	100
<i>0.064</i>	100	100	100

Table 6.3: Number of experiments carried out with wave of advance

In short, of the 45 scenarios simulated, only 3 –6.6%– present a lower number of results. However, this will not affect the investigation’s conclusions because these results are statistically representative, as shown above.

6.2 Space and time in the model

We now focus on aspects associated with space and time in the model, i.e. how the Neolithic expansion process in the western Mediterranean came about and its space-time implications.

6.2.1 Time

First of all we will explore matters relating to time, i.e. the variable used to control time and

the effects it has in the model. Time is a cumulative variable because the virtual results we observe are the consequence of the accumulation of information over time, a phenomenon known as time averaging (Madsen 2012; Crema et al. 2014; Porčić 2014). Controlling time in this investigation is fundamental because it enables us to know when the different areas of the western Mediterranean have been occupied. In our case the temporal information can be split into two groups: a) the arrival time and b) the time accumulated in particular temporal segments.

As far as the former is concerned, this corresponds to the time the first cell for each region was occupied. The value used to establish the Neolithic groups' arrival time corresponds to the average of the 100 repetitions for each movement.

As for the latter, we have decided to keep the results associated with 20, 40, 60, 80, 120, 240 and 300 time-steps, although in the specific case of the wave-of-advance movement we have incorporated the cumulative information associated with 480 ticks of the program. This information corresponds to the n ticks of occupation for each virtual region defined, i.e. we need to bear in mind that the temporal segment does not correspond to the number of ticks made since the start of the model. Table 6.4 shows an example in which we can see the relation between the regional tick and the tick for the model.

Region	Leap 25		Leap 30		Wave of Advance	
	Model tick (20t)	Model tick (300t)	Model tick (20t)	Model tick (300t)	Model tick (20t)	Model tick (300t)
Sitaly (1)	20	300	20	300	20	300
Ligu-Prov (7)	63	343	60	340	208	488
EastSp (17)	105	385	96	376	453	733
Algarve (23)	117	397	105	385	572	852

Table 6.4: Relation between the regional tick and the tick for the model. The columns represent cumulative ticks for each region (20 & 300). The rows represents the number of ticks passed since the start of each simulation in the indicated regions.

6.2.2 Settlement

The next matter for our attention is the Neolithic expansion process in itself, i.e. how the different programmed movements influence the occupation process.

6.2.2.1 Wave of advance

The first movement described corresponds to an expansion process based on the wave-of-advance model. This expansion means that agriculture would spread from one cell to neighbouring cells with no agriculture. The process works as long as the cells are fit for agriculture. Figure 6.1 shows the colonization of the western Mediterranean at particular points in time.

It can be observed that using the wave-of-advance movement means that the spread of agriculture is a purely terrestrial process, i.e. when this movement is simulated, those regions that are isolated for whatever reason never receive agriculture. In Figure 6.1, for example, we can see that the agricultural expansion process at no time reaches the various islands located in the western Mediterranean. Neither does this expansion colonize the Mediterranean coast of

6. VIRTUAL RESULTS

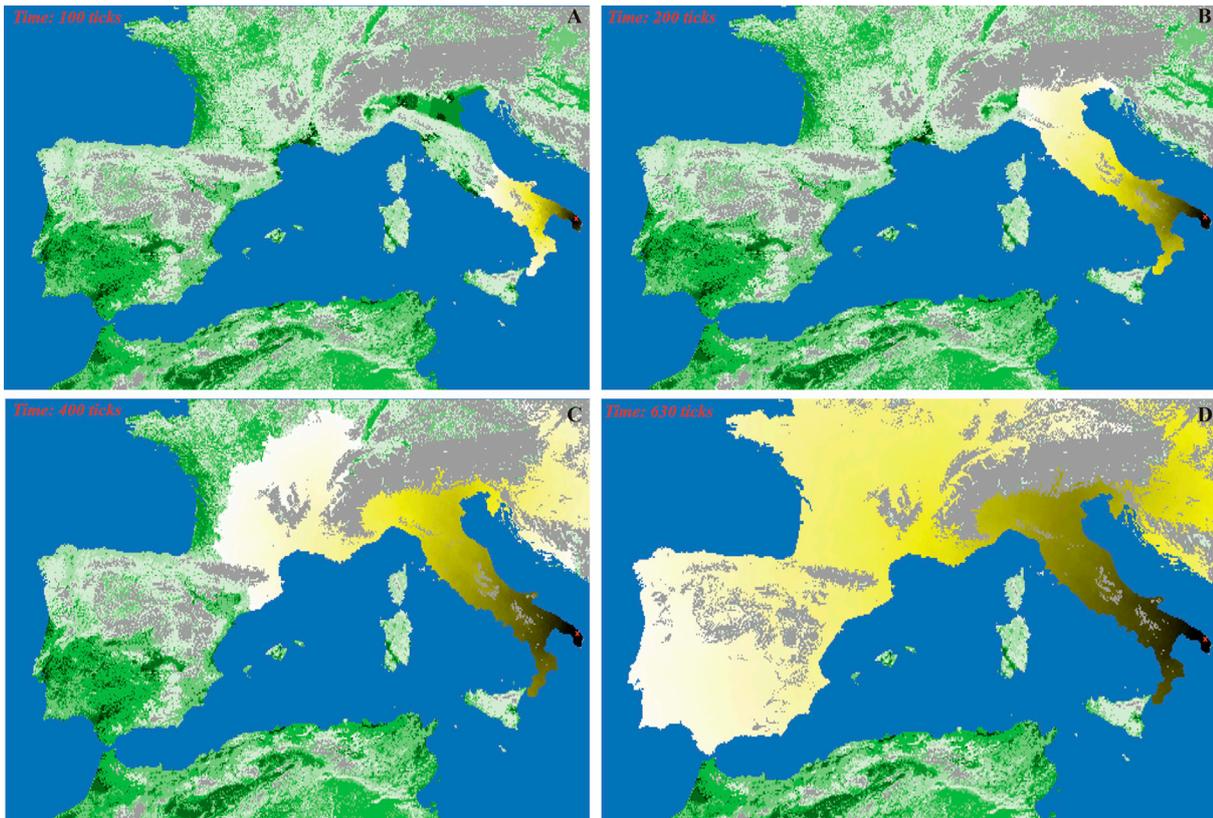


Figure 6.1: Colonization of the western Mediterranean based on a wave-of-advance dispersion. See text for details.

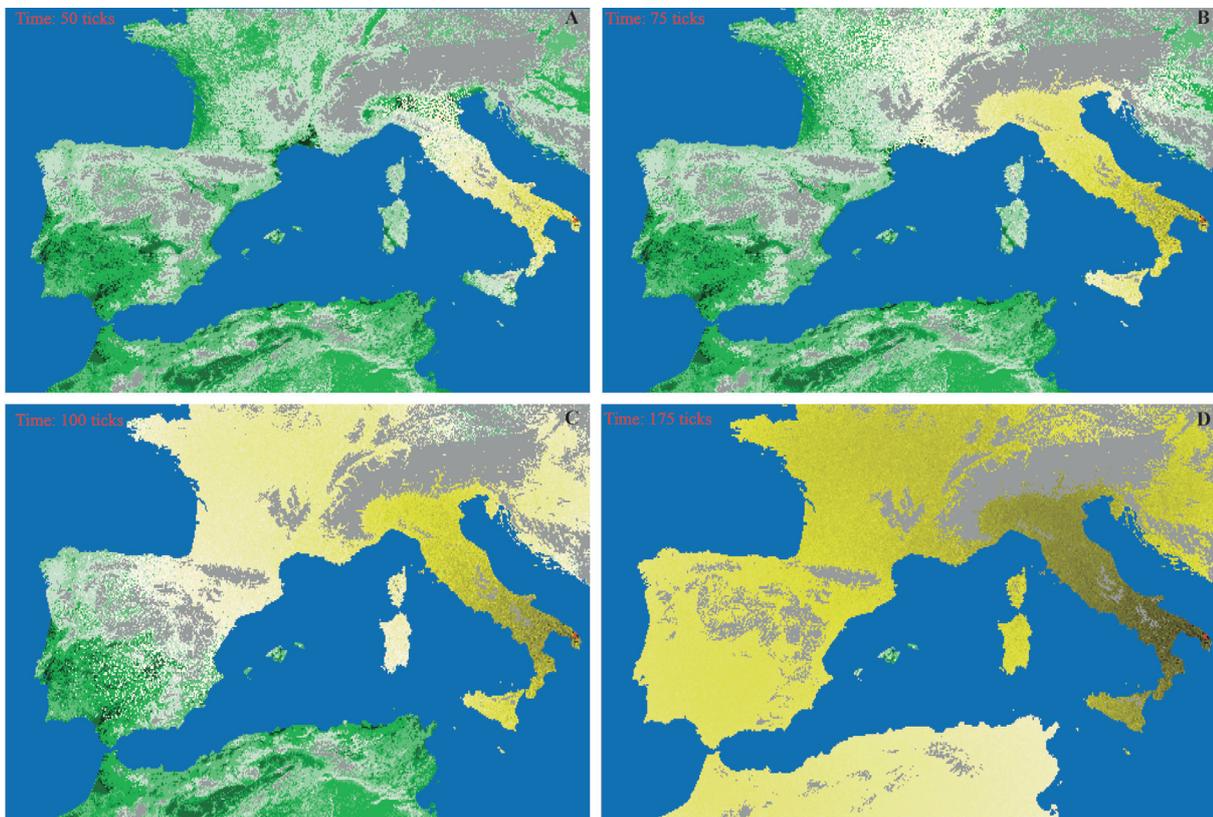


Figure 6.2: Colonization of the western Mediterranean based on a 125-km leapfrog dispersion. See text for details.

Africa. Finally, if we look in detail at Figure 6.1D, we observe that a number of useful cells –coloured green– are isolated among areas that are not useful from an agricultural point of view –coloured grey–. These cells will never be colonized by the earliest farmers –coloured yellow– because these farmers only spread into neighbouring cells that have no agriculture.

6.2.2.2 Leapfrog

With this movement, the spread of the Neolithic takes place from one cell with agriculture to another randomly-selected cell that can receive agriculture. The destination cell is chosen from those within an established maximum distance. With each movement, the selection of this distance is a stochastic variable. Figure 6.2 below shows the colonization of the western Mediterranean at certain points in time with the maximum distance being 25 cells –125 km–.

It can be seen that using a leapfrog movement naturally means that the spread of agriculture is a process involving leaps. Therefore simulating this expansion process means that territories separated by barriers such as the sea or areas with no expansion possibilities can be colonized by farming groups. In Figure 6.2D, for example, we observe that the western Mediterranean with the exception of the Balearic Islands is occupied.

Finally, Figure 6.3 represents the expansion of the Neolithic based on a leapfrog movement with a maximum distance of 30 cells -150 km-. This works in the same way as the previous case but the distance of the leap is modified. In the case of Figure 6.3D we see that when the expansion cycle comes to an end, the whole of the western Mediterranean has been occupied.

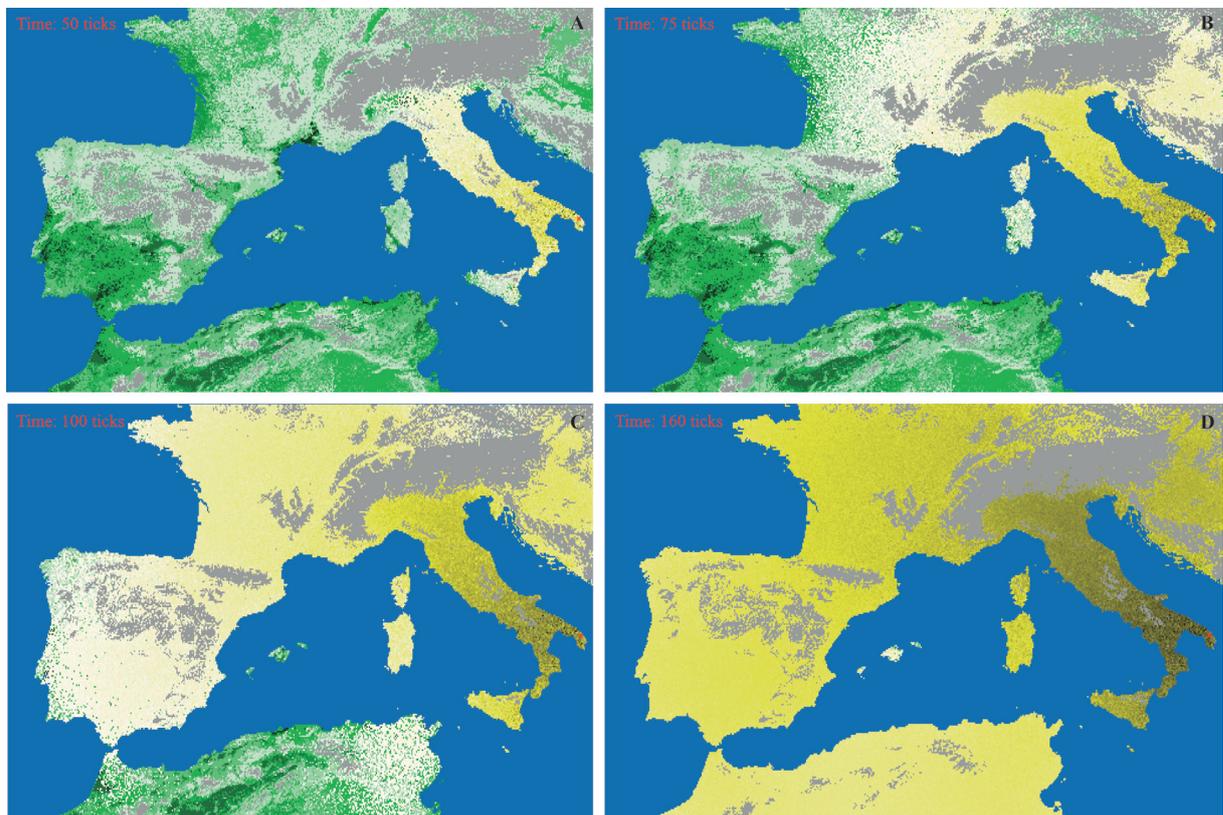


Figure 6.3: Colonization of the western Mediterranean based on a 130-km leapfrog dispersion. See text for details.

6.2.3 The colonization of the western Mediterranean: space-time implications

Now that the two variables have been described, we can develop the space-time implications in the colonization process of the western Mediterranean. Table 6.5 presents the results of the arrival of the Neolithic to each of the virtual regions. Time is the average of the results for the 100 experiments.

Region	Name	Leap_25	Leap_30	Wave
Region1	South Italy	0	0	0
Region2	Sicily	31	28	
Region3	Tavoliere	18	16	42
Region4	Adriatic	24	23	67
Region5	Tirrenian	24	23	75
Region6	North Italy	39	36	163
Region7	Ligur-Prove	43	40	188
Region8	Corsica	48	42	
Region9	Sardinia	62	51	
Region10	Cartaghe	99	78	
Region11	Po Valley	39	35	161
Region12	Languedoc	60	54	298
Region13	NE Spain	69	62	336
Region14	Balearic	118	89	
Region15	West Tunisia	112	92	
Region16	South of Ebro	79	70	397
Region17	East of Spain	85	76	433
Region18	Alboran	111	94	
Region19	SE Spain	90	79	462
Region20	Morocco	103	89	
Region21	West Morocco	100	87	
Region22	Algarve	98	86	556
Region23	Tagus Port	97	85	552
Region24	North of Portugal	97	85	552
Region25	NW Spain	98	86	547
Region26	Cantabria	90	79	476
Region27	Basc Spain	78	69	404
Region28	SW France	70	63	351
Region29	SW Spain	93	82	506
Region30	North Meseta	88	78	474
Region31	West Ebro (Upper)	78	69	406
Region32	Ebro North	72	65	354
Region33	Ebro South	78	70	399
Region35	Xuquer	85	75	463
Region36	Tagus Spain	86	76	471
Region37	Guadiana	90	79	491

Table 6.5: Arrival tick for each region according to the movement used

If we analyse the results associated with the different movements (figure 6.4 and Table 6.5), we observe that broadly speaking there is a relationship between geographical distance –Chebyshev– and the arrival of the first Neolithic groups as seen in the results of the R^2 . In other words, when the region is geographically situated further from the point of origin, the

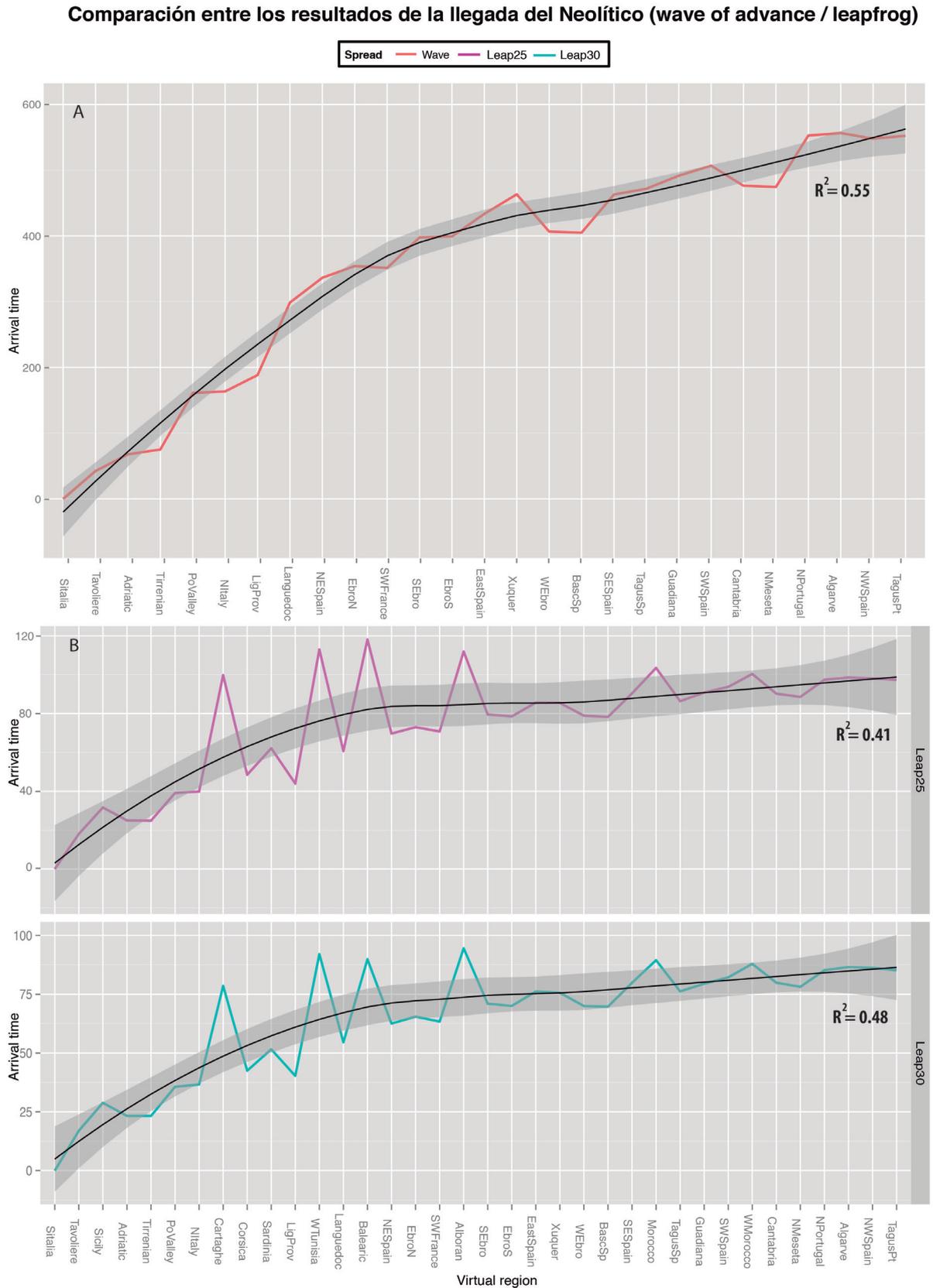


Figure 6.4: Comparison between arrival results according to the movement used: A) wave of advance, and B) leapfrog. The virtual regions are listed from smallest to greatest geographical distance.

simulation needs more time to *neolithize* it, although this direct relation presents some atypical values that merit comment.

As regards the wave-of-advance movement (figure 6.4a), we should point out that all those regions that agriculture does not reach have been eliminated from the graph. If we analyse the temporal information –coloured line–, we see that it follows the same outline as the expected average and has a confidence interval of 95%, although it does present some atypical values that we describe below.

The first group of outliers that merits attention is that associated with regions 5, 6 and 7, i.e. the Tyrrhenian region in northern Italy and the Liguria-Provence arc. Here we observe that the farming system is adopted more quickly than would be expected according to the neolithization trend. This behaviour by the model must be connected to the fact that the Tyrrhenian coastline of the Italic Peninsula presents numerous cells that are very good from an ecological point of view.

The next residual values are associated with regions 27 and 31 –the Basque Country and the Upper Ebro– and are located at around 400 time-steps in the simulation. Meanwhile the final group of atypical values is located at around 450 ticks in the simulation and corresponds to regions 25 and 30 –Cantabria and the northern Meseta–. These outliers are connected with the same expansion process because, as shown in Figure 6.5, the introduction of the Neolithic to the Iberian Peninsula is associated with a two-pronged route: a) via the Gulf of Lion, i.e. an expansion linked to the French south-east, and b) via the French south-west. This front of expansion is the reason behind the last atypical values observed in Figure 6.4a due to the fact that the regions in the north of the Iberian Peninsula –Cantabria and the northern Meseta– are colonized via the

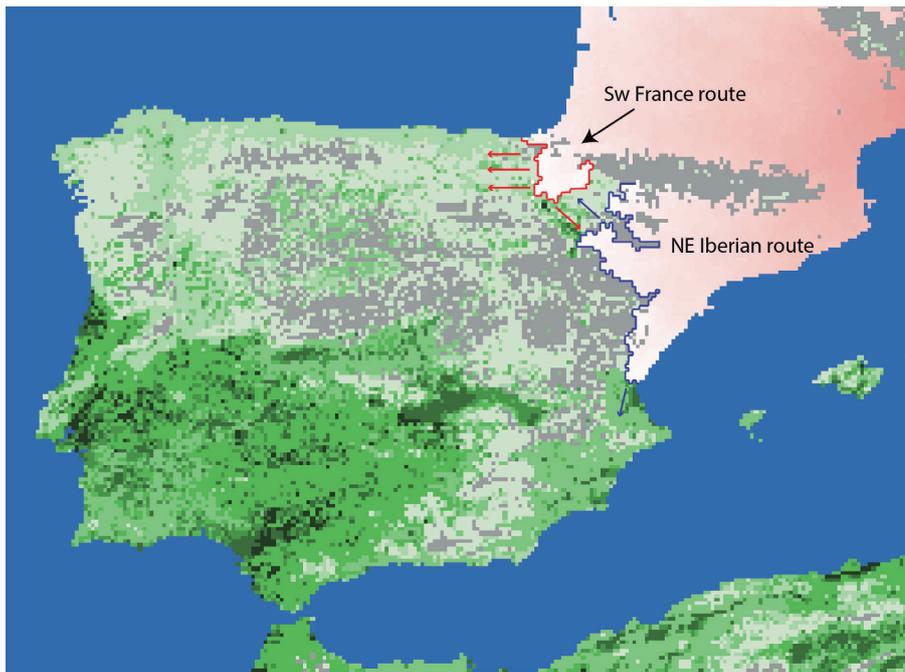


Figure 6.5: Introduction of the Neolithic in Iberia

Atlantic route. In this case these regions adopt the farming system more quickly than would be expected according to the neolithization trend.

As far as the leapfrog movement is concerned, the behaviour of both time curves is the same (figure 6.4b) and the only differences are in the time scale, which is faster in the case of the “leap30” Neolithic expansion. We can see from the graph that there are numerous time variations associated with regions situated on the African continent and the main islands of the Mediterranean. Next we will describe the different time fluctuations and their implications in the neolithization process.

The first temporal outlier we should look at relates to the Balearic Islands –region 14–. In our computer simulation this is one of the last regions where the introduction of agriculture is documented, as can be seen in Figures 6.2d and 6.3d. This behaviour of the model is validated by the archaeological information available for the area because stable colonization is situated after than the early Neolithic (Ramis et al. 2002; Guerrero Ayuso & Calvo Trias 2008). This could be related with the fact that the Balearic Islands are located in a strategic position for navigation in the western Mediterranean, although the prevailing anti-clockwise currents mean that relations with Corsica, Sardinia and the Ligurian Sea would be very difficult and relations with the islands have to be associated with the Catalan and Valencian coasts and the South of France (Calvo Trias, Guerrero Ayuso & Salvà Simonet 2002, 163).

The next residual values are for region 8, Corsica. In this case we see that colonization comes several time-steps later than in neighbouring terrestrial regions –region 5 [the area of the Tyrrhenian], region 6 [the area of northern Italy] and region 7 [the Liguria-Provence arc]– although Corsica is colonized before Sardinia (table 6.5). On the basis of the arrival time and the geographical distance between the different areas, the results of the model give us three possible routes for the introduction of the Neolithic (figure 6.6). The first of these would be associated with a colonization of Corsica from the islands situated between it and the Italic Peninsula, for example Giglio and Elba. The second route would be associated with the north of the Italic Peninsula, specifically the Livorno-Pisa area. The third would be from the north of the Italic Peninsula, specifically the area of Liguria. From an archaeological point of view, there is no doubt about the direct relation between the area of Tuscany and the islands located near the Italic Peninsula, an excellent example being the Isola del Giglio (Brandaglia 1991), although some of these islands present their earliest Neolithic occupations in the Middle-Tyrrhenian Impressed Wave, for instance Pianosa (Gabrieli & Boschian 2009, 8). Finally, the model also corroborates the hypothesis that the introduction of agriculture to the island of Sardinia was made via Corsica (Guilaine 2000).

Also worthy of our attention is the Liguria-Provence and Languedoc, where, the agriculture arrives earlier than would be expected according to the average trend. This behaviour of the model seems to be supported by the recent radiocarbon radiocarbon datings at over



Figure 6.6: Colonization of the large islands of the western Mediterranean

6800 BP for domestic elements associated with Impressa contexts in the Languedoc (Bernabeu, Manen & Pardo Gordó, forthcoming).

Finally we need to look at the outliers associated with the different African regions. These values are certainly interesting because they enable us to understand when the regions of Africa were colonized, which according to the time-distance ratio was later than would be expected (figure 6.4b). Judging by the results of the simulation, we see that there is a dual colonization of the African coast (figure 6.7). The first region to adopt the agricultural and livestock system were Carthage, the most easterly region [region 10], and western Morocco, the most westerly [region 21]. Table 6.5 shows the arrival of Neolithic groups to both these African regions.



Figure 6.7: The introduction of the Neolithic to North Africa

The first route would be associated with a colonization of the Carthaginian area from Sicily, and it would be from this region that the Neolithic would start to spread out towards the west of Africa. The second route whereby the Neolithic was introduced would be associated with the south of the Iberian Peninsula, specifically the Gibraltar-Malaga area. Once the

farming system was adopted by the most westerly region of Africa, these groups spread out towards the eastern Mediterranean and the Atlantic area –Cape Spartel– In short, we can see from Figure 6.7 that there is a two-pronged route for the introduction of the Neolithic into the African continent and that the first regions colonized are the point of origin for the neolithization of the remaining regions, with a point of interaction between both groups being reached around the area of Alboran-western Tunisia. The results of our model could throw some light on the role of the African continent in the neolithization process. The results associated with the Strait of Gibraltar, for example, imply that proposals suggesting the neolithization of southern Iberia from northern Africa should be qualified because this route does not mean that no relations between the two areas existed once the Neolithic had been adopted. This is a question that would support the existence of a dual ceramic style around the Strait of Gibraltar area (Manen, Marchand & Carvalho 2007) associated with a lithic industry that featured pressure flaking and heat treatment (Carvalho 2010). As regards the spread of the Neolithic from the Strait of Sicily, there are a number of indicators enabling us to accept this route for the dispersion of agricultural groups. There are ceramic remains with decorations with clear Italic connections to be found all along the Mediterranean coastline of Africa (Camps 1974) plus obsidian from islands such as Pantelleria, Palmarola and Lípári to be found on the eastern coast of Tunisia (Mulazzani et al. 2010; Le Bourdonnec et al. 2013), both of which provide a link between the Italian area and north-eastern Africa. Also, although different authors have noted that the island of *Pantelleria* presents the earliest occupations around the Bronze Age (Zilhão 2014, 188), we must not reject the existence of pioneering sea traffic out of hand because the distances between the different geographical areas calculated as the crow flies (table 6.6) are lower than the value used –150 km– in similar papers where sea navigation has been introduced (Parisi et al. 2008, Fort, Pujol & Vander Linder 2012).

Origin	Destination	Distance (Km)
Sicily	I. Marettimo	~33
Sicily	Pantelleria	~85
Sicily	Tunisia	~130
Pantelleria	Tunisia	~70
I. Marettimo	Tunisia	~130
I. Marettimo	Pantelleria	~125

Table 6.6: Distance in km between Tunisia and the islands of Sicily, Pantelleria and Marettimo

The results of our computer simulation are consistent with the radiocarbon information available for the Mediterranean coast of Africa. In the case of the Neolithic introduction route via the Strait of Gibraltar we have a chronological gradation from west to east, which would corroborate our idea of expansion towards the east of Morocco from the Tingitana Peninsula.

The oldest dating available is for domestic elements of clear Neolithic chronology documented at the Kaf that el Ghar site –Ly971 [6350±85 BP (Bouzouggar 2006)]– while further west we have datings carried out on a grain of wheat from the site at Ifri Oudadane –Beta318608 [6140±30 BP] (Morales et al. 2013)–. The radiocarbon information for Tunisia is not so clear due to problems of a different type, which have been highlighted in a recent paper (Ben Moussa 2008). Regardless of these problems, we can still observe a chronological gradation from east to west. In this case we have radiocarbon dating carried out on human bone from the Kef el Agab site in Tunisia –Hd-28982 [5984±24 BP] (Aouadi, Dridi & Ben Dhia 2014 – and on a pig bone from the site at Zafrín –KIA17373 [5600±30] (Bellver & Bravo 2003)– located on the border between Morocco and Algeria.

In short, the archaeological information for the Mediterranean coast of Africa appears to corroborate the results of our agent-based model, in which we see both a west-east and an east-west expansion. In other words the radiocarbon information supports the idea of a two-pronged expansion process for the Neolithic.

6.3 Cultural results

Now that the results associated with time and space in our model have been presented, we can focus on the cultural results. Those presented below come from the large number of raw data files generated by our computer model.

6.3.1 Data processing and measurement of cultural hitchhiking

In the following section we concentrate on two questions that are fundamental for enabling us to understand the cultural results. The first involves processing the raw data from the model, while the second looks at how the cultural hitchhiking hypothesis can be measured.

6.3.1.1 Processing the raw data

As outlined in Chapter 5, processing the model's outputs was carried out using R statistical software, specifically packages such as *vegan* (Oksanen et al. 2013), *MASS* (Ripley et al. 2015) and *Statnet* (Goodreau et al. 2008). The raw data has been processed in different stages which we describe below⁷³.

a) To begin with, we obtained a first approximation from the raw data so as to be able to divide the files by their experiment numbers, i.e. the original files were sorted according to the number of experiments carried out. This process was done for each of the simulated scenarios. Hence the 1510 NetLogo output files were converted into 156063 *csv* files.

b) Once the original files had been divided up, we went on to select the cultural information associated with the time windows created –20, 40, 60, 80, 120, 240, 300 and 480–. In this

⁷³ A detailed description of the scripts programmed in R can be found in Appendix E.

case two steps were carried out: first we selected all those files with the same innovation rate, then we selected the time windows. This step provides us with information broken down into time, innovation rate and region. With a slight modification of the script, this can be used to store the information in line with the generation criterion.

c) Once the files are organized into time windows and their corresponding μ values, the next step is to begin processing the data from a cultural perspective. The files were first grouped by region to make the data easier to handle, then the cultural information associated with each virtual region was selected. In this case, like with the time information processed at the start of the chapter -6.2.1-, the cultural variable corresponds to the average of each variable in each time window. To put it another way, our model saves the total number of cells with technique 1, 2, etc... for each region. Thus we decided to use the average for each technique to characterize each region. In short, each region will be characterized by 30 cultural values.

d) The next script has to be run in order to prepare the “colMeans” file in matrices of variables to carry out the calculations for cultural distance. This script gives us cultural averages for all the regions associated with a particular scenario in a single file. Once we have files with the regions unified, they are processed manually using the spreadsheet that comes with the LibreOffice software so that the identification of the variables and regions can be incorporated. Finally these files are saved in csv format, providing us with data matrices for measuring cultural questions.

e) After the matrices associated with the averages of cultural techniques had been created, the next step was to calculate the Brainerd-Robinson –BR– coefficient, which as we already mentioned in the previous chapter is a coefficient of similarity based on a comparison of categorical information. The result is a matrix of cultural similarities between all regions, which as in the previous cases is saved in csv format.

f) The next task was to convert the BR coefficient matrices into matrices of cultural distance. This is done by subtracting the value for perfect similarity from the coefficient calculated in the previous step and multiplying the result by -1 so as to address the problem of negative values for cultural distance.

6.3.1.2 How can cultural hitchhiking be measured?

The second question we need to deal with is how to obtain a quantitative approximation of cultural hitchhiking. In social sciences and the humanities the measurement should be considered as a “*process in which abstract concepts are linked to empirical indicators*” (Carmines & Zeller 1979, 10). In other words empirical markers can be used to measure the existence of cultural hitchhiking, or to put it another way, statistical measurements can help us to establish the presence or absence of this process.

As far as we are concerned, in order for there to be a hitchhiking influence in the spread of the first Neolithic groups, we need to find three behaviours in our model’s results: a) a high

–although variable depending on the effect of other variables– correlation between the cultural and spatial variable as regards the starting point of the expansion process, i.e. southern Italy, at least during the early stages of expansion; b) a certain degree of correlation in the cultural pattern throughout the western Mediterranean; and c) an absolute cultural rank that should function in the opposite way to measurement A, so that the maximum distance between the regions closest to and furthest from the supposed point of origin –southern Italy– should be small, at least in the early stages.

As can be intuited from the above, in order to measure cultural hitchhiking we have decided to use a descriptive statistic, specifically the application of correlations and ranks between different variables, which we will now describe in detail.

The first measurement corresponds to the correlation between the cultural distance –BR– and the geographical distance –calculated using the Chebyshev method– between southern Italy and each of the regions in the model.

As regards the correlation in the pattern of the western Mediterranean, we have applied the Mantel test (Mantel 1967) which, as we saw in the previous chapter, consists of comparing two data matrices. In this case we compared the cultural distance matrix calculated according to BR and the geographical distance matrix calculated according to Chebyshev.

The third and final measurement consists of a cultural rank that measures the difference between the maximum and minimum cultural distance corresponding to each scenario. Southern Italy is excluded from this calculation to make it comparable when represented graphically with the other measurements, i.e. its result is divided by 100.

Of the three measurements used in our analysis, the first two are based on calculating Pearson's R (Stigler 1989; Pearson 1895). In these cases we used the correlation between the distance of the BR coefficient and the geographical distance calculated following Chebyshev.

6.3.2 Evolutionary dynamics of cultural variability

As noted throughout the present work, our aim is to explore the possible effects of the first Neolithic on cultural variability, the assumption being that the hitchhiking hypothesis may have a significant influence on its dispersion through the western Mediterranean. It is essential, therefore, to understand the factors that could explain this variability, in our case cultural distance.

There is no doubt that different variables can affect the behaviour of cultural difference in the various regions analysed. In our model there are five variables that could explain cultural variability and, as recurrently happens in the human sciences, the most plausible explanation probably lies in a combination of all of them. These variables are space, time, expansion movement, mutation rate and type of interaction.

6.3.2.1 Which correlation should be used? Simple and partial correlations

The next question is which correlations to use. Do we concentrate only on those calcula-

ted on the basis of geographical and cultural distance or do we need to incorporate the effect of the other variables, which would mean using partial correlations of various types? These partial correlations are applied in situations in which the relation between two variables is influenced by their relations with other variables (Lengrede & Lengrede 1998, 161). In other words, partial correlations show the correlation between two given variables if the other variables remain stable. In this investigation, given that we do not know the effect of movement, interaction or the mutation rate, the effects of which are precisely what we are aiming to evaluate with this model, the partial correlation is limited to controlling space and time. We will therefore evaluate the influence of space and time on cultural distance using the Mantel test to illustrate it.

The partial Mantel test (Smouse, Long & Sokal 1986) involves the evaluation of two data matrices – cultural and geographical – based on the effect of a third, the time matrix. This is calculated from the permutation of the X matrix, while the Y and Z matrices remain constant (Bonet 2008, 315). In Figure 6.8 we compare the results of the Mantel test and the partial Mantel test associated with the three interaction processes, expansion, and a mutation rate with a value of 0.004.

COMPARATIVE BETWEEN MANTEL AND MANTEL PARTIAL WITH $\mu = 0.004$

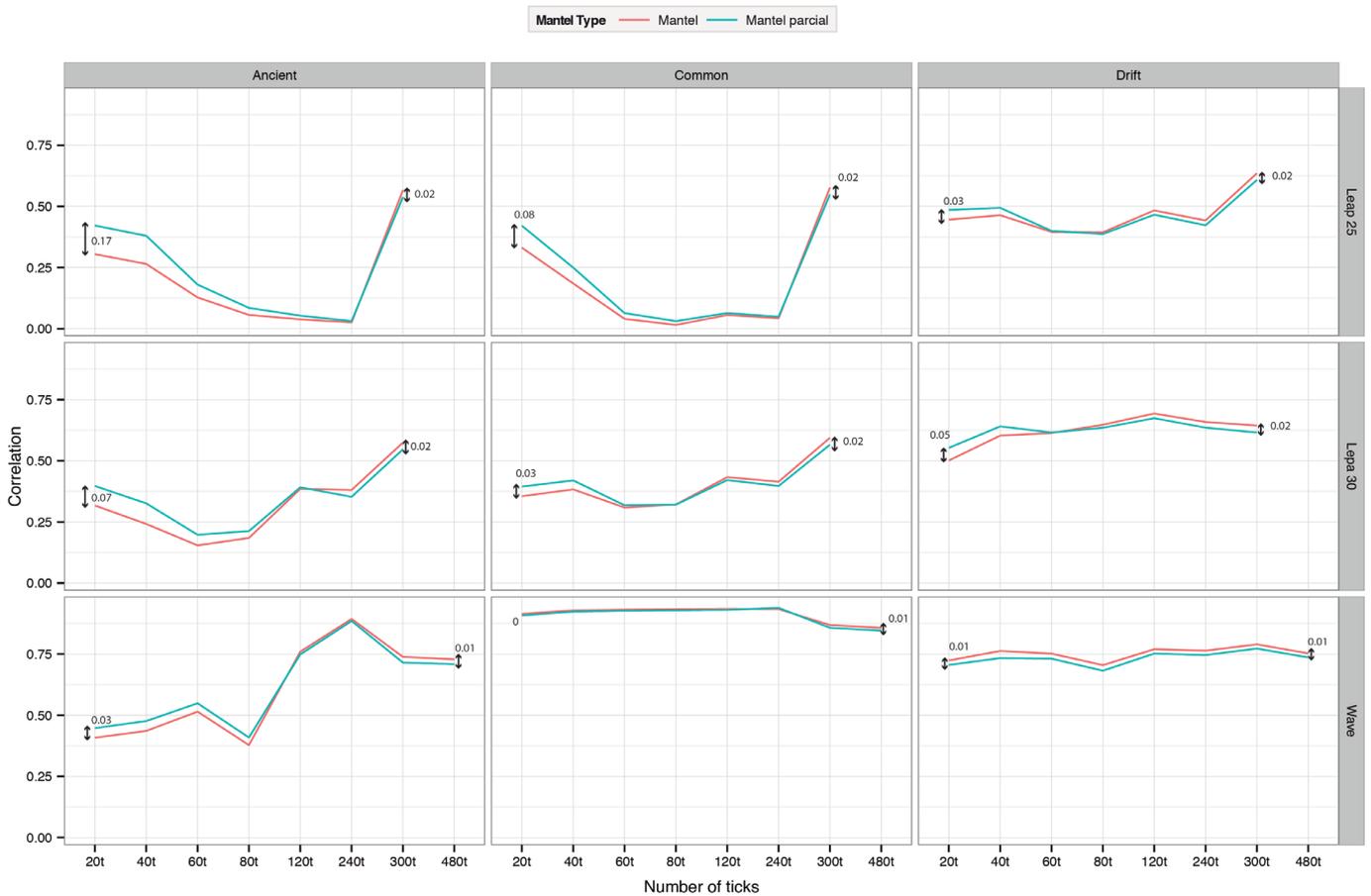


Figure 6.8: Comparison between the correlations of the Mantel test and the partial Mantel test

It can be seen that the correlation index associated with the partial Mantel test presents very high values when the accumulation of ticks presents an only moderately high value of around 80. When the time averaging is higher, we see that the time variable has a negative influence on the results. To put it another way, when the number of ticks accumulated is not very high, the partial Mantel test presents higher correlations than the Mantel test, and only when the accumulation is high are the correlations associated with the partial Mantel test lower than those obtained with the Mantel test. It is fair to say that in cases involving the drift process and expansion based on wave of advance, the results associated with the Mantel test present higher correlations than those produced by the partial Mantel test.

Now that we have seen how the results behave with and without the time variable, we need to address two fundamental questions: first, what phenomenon lies behind this pattern, and second but no less important, what values should we consider in our investigation, Mantel or partial Mantel correlations?

As regards the first question, from our point of view the behaviour of the correlations needs to be linked to the fact that in the earliest moments –low time averaging– the time variable has greater weight because it is used cumulatively and with the passing of time its influence on the result tends to diminish. Nevertheless, all the curves follow a very similar trend and the differences that the Mantel rank⁷⁴ produces between the correlations obtained are very small. We are led to opt for the simple correlation in all cases once we take these results into account along with the lack of consistency surrounding the usefulness of the partial Mantel test in the statistics literature (Raufaste & Rousset 2001; Castellano & Balleto 2002), an aspect that has an influence in the archaeological field where there is research of a similar nature to that carried out in this investigation in which both the partial Mantel test (Shennan, Crema & Kerig 2015) and the Mantel test have been applied (Crema, Kerig & Shennan 2014; Bernabeu, Manen & Pardo Gordó, forthcoming).

6.3.2.2 *Why geographical and not temporal distance?*

The next question that arises concerns the variable used to calculate the correlations, i.e. the reason why Chebyshev distance rather than temporal distance is used.

In the virtual world temporal distance –measured as a tick for arrival in a region– to a certain extent incorporates a spatial dimension, so for this reason and to answer the question posed earlier we have decided to compare three types of correlation in order to observe their behaviour. First we calculated the correlations between cultural distance and geographical Chebyshev distance. We then carried out the same procedure but substituting geographical distance by temporal distance, i.e. the arrival tick. Finally, because both cases involve distance, we deci-

⁷⁴ This corresponds to the difference between both correlations –Mantel and partial Mantel at the start and finish of tick accumulation–.

ded to create a new variable (Nieto de Alba 1984, 108) to weight the influence of space on time, based on multiplying the Chebyshev value by the arrival time.

Figure 6.9 shows the results of the different correlations calculated. In this case we compare the three variables used according to the expansion process, interaction, and a mutation rate value of 0.004.

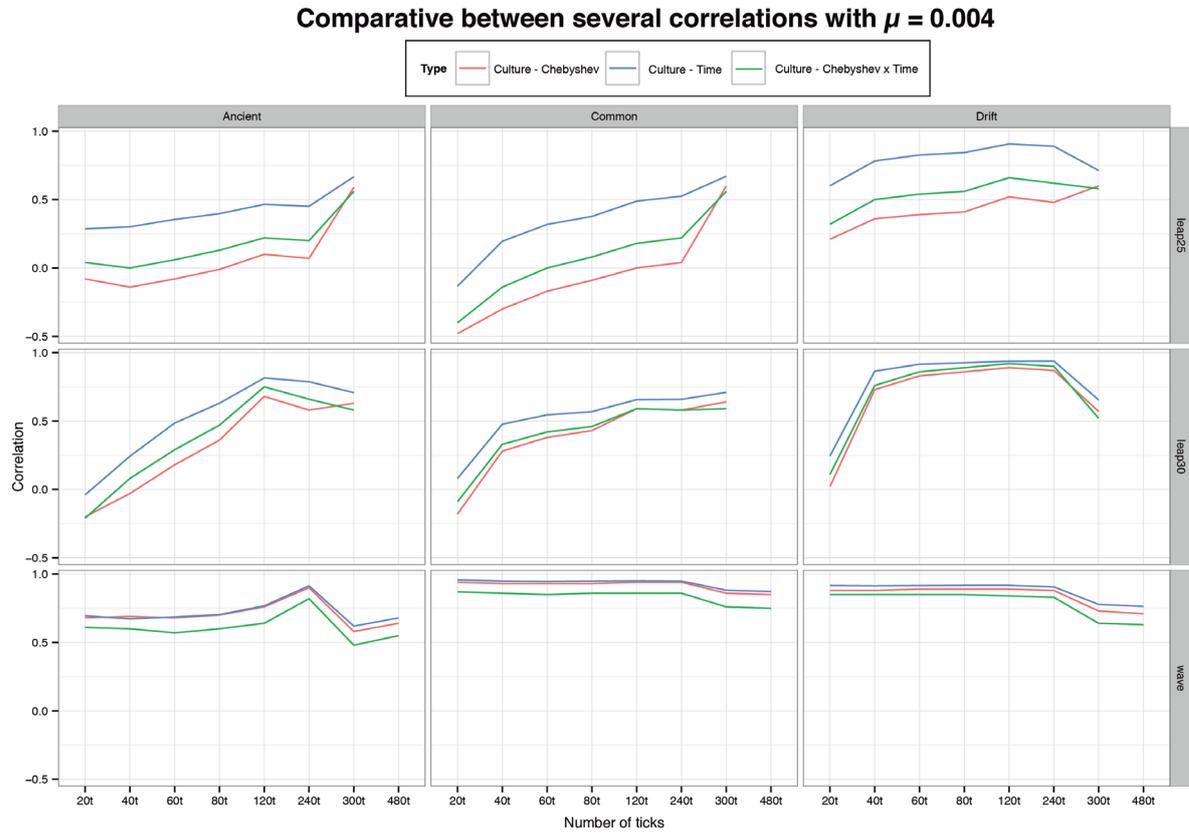


Figure 6.9: Comparison between the different measurements that characterize cultural hitchhiking

We can see that the curves associated with the culture-time and culture-space/time correlations have very similar dynamics and that only the results associated with the culture-space correlation show a different trend in the final time band, but in connection with certain movements: “*leap25+drift*”, “*leap30+ancient*” and “*leap30+common*” expansion. This again shows that it is highly likely that the variations observed have more to do with the other variables than with space and/or time. Because of this, and for simplicity of comparison with the real world, we will henceforth always use the simple correlation between cultural distance and geographical distance calculated using the Chebyshev method in our analyses.

6.3.2.3 Analysis of the correlations

Now that the statistical techniques and variables that we will use to calculate the correlations have been decided, the next section focuses on analysing the results of the three statistical measurements associated with cultural hitchhiking.

First we present the results according to their statistical significance. In the summary table below (table 6.7) the results have been split into two groups, those showing values of $p \leq 0.05$ and those that do not, since this figure is the one most used by researchers for rejecting the null hypothesis (Losilla et al. 2005, 37). It should be pointed out, however, that a recent paper concluded that the p-value is not as reliable as many scientists suppose (Nuzzo 2014). Detailed information can be found in the various tables at the end of the chapter (tables 6A, 6B and 6C). Table 6.7a contains information associated with the Mantel test, while Table 6.7b shows the correlations between the cultural distance and the Chebyshev distance. The cultural rank is not presented in this data group because it has no statistical significance due to the fact that it is a subtraction between the minimum and maximum cultural distance.

a) Mantel	Ancient (35 cases)		Common (35 cases)		Drift (35 cases)	
	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$
Leap 25	29	6	31	4	35	
Leap 30	34	1	35		35	
Wave	27	8	35		23	12

b) Correlation BR&Chebyshev	Ancient (35 cases)		Common (35 cases)		Drift (35 cases)	
	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$
Leap 25	23	12	22	13	32	3
Leap 30	28	7	29	6	33	2
Wave	22	13	35		23	12

Table 6.7: Values of statistical significance:
A) Mantel test, and B) correlation between cultural and geographical distance in relation to southern Italy

Next we present the results according to correlation value and degree of statistical significance. The following summary table (table 6.8) splits the results into positive and negative correlations and their statistical significance. As in the previous case, the A table shows the Mantel values while the B table shows the correlations between cultural and geographical distance.

a) Mantel	Ancient (35 cases)				Common (35 cases)				Drift (35 cases)			
	- Correlation		+ Correlation		- Correlation		+ Correlation		- Correlation		+ Correlation	
	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$
Leap 25	0	0	29	6	0	0	31	4	0	0	35	0
Leap 30	0	0	34	1	0	0	35	0	0	0	35	0
Wave	0	1	27	7	0	0	35	0	0	7	23	5

b) BR&Chebyshev	Ancient (35 cases)				Common (35 cases)				Drift (35 cases)			
	- Correlation		+ Correlation		- Correlation		+ Correlation		- Correlation		+ Correlation	
	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$	$P \leq 0.05$	$P > 0.05$
Leap 25	0	6	23	6	1	6	21		0	0	32	3
Leap 30	0	6	28	1	0	3	29	3	0	0	33	2
Wave	0	2	22	11	0	0	35	0	0	6	23	6

Table 6.8: Comparison between positive and negative correlations as regards their statistical significance:
A) Mantel test, and B) correlation between cultural and geographical distance in relation to southern Italy

A brief exploration of the tables enables us to discover the kind of results obtained in our computer modelling. They are divided into two groups: a) correlations of low statistical significance, and b) negative and/or positive correlations with a p-value ≤ 0.05 . In other words our results are associated with some groups of values that present no linear correlation and others that do. The main question now is how to interpret them. The first aspect that needs to be highlighted is the lack of a direct relation between the values of $p > 0.05$ and the failed experiments described at the beginning of the chapter. For this we use Table 6.7a, the Mantel test, because it refers to the values associated with the western Mediterranean as a whole. Comparing this table with Tables 6.1, 6.2 and 6.3, we can conclude that in those cases in which failed experiments were documented, there are no correlations with low statistical significance.

The next question we need to answer is what does statistical significance represent? Broadly speaking it indicates the existence or not of a linear correlation between related variables and in no case means that results with a value of $p > 0.05$ should be rejected, because we are working with virtually-generated information. To put it another way, this investigation is not based on population samples but on data corresponding to the population per se, so by extension our virtual data are always statistically representative. If we find no linear correlation it is simply because the relevant processes did not find such a relation between geographical and cultural distance. Figure 6.10 shows all the cases associated with the Mantel test and the culture-space correlation as regards southern Italy which do not present a linear correlation.

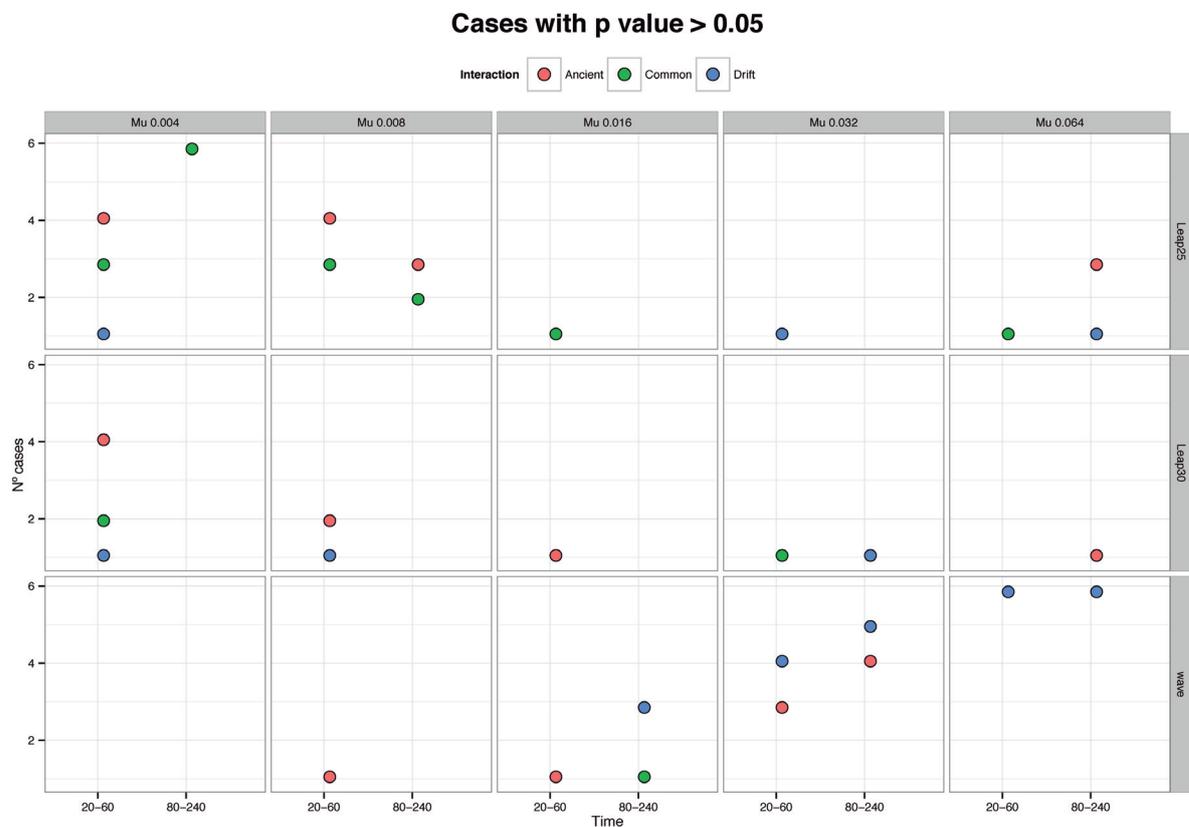


Figure 6.10: Cases with low statistical significance regarding the main variables: mutation rate, movement and interaction

Here we can observe two very interesting patterns involving the cases with low statistical significance. First, when the time average is greater than 240 ticks, we have no documented cases with an absence of correlation. These present a distribution associated with the expansion movement used. In cases where the movement is based on isolated dispersion, these are documented when a low innovation rate is used, whereas with expansion based on wave of advance, cases with low statistical significance are found when the mutation rate used is high (> 0.016).

According to the observations made there is little doubt that cases with low statistical significance could be the result of various processes, and by extension these only indicate different dynamics that may or may not be associated with the existence of cultural hitchhiking.

6.3.2.4 Exemplifying the behaviour of measurements associated with cultural hitchhiking

In this section we focus on analysing the behaviour of measurements associated with cultural hitchhiking –the Mantel test, the correlation between culture and geographical distance in relation to the point of origin, and cultural rank– in relation to the different scenarios. In order to illustrate this analysis we have decided to use the central value and the two extreme values of the simulated innovation rate: μ 0.004, 0.016 and 0.064.

The first case we present corresponds to the expansion process based on “leap25” (figure 6.11). The graph allows us to exemplify the behaviour of each statistical measurement used according to the mutation rate and the simulated interaction process.

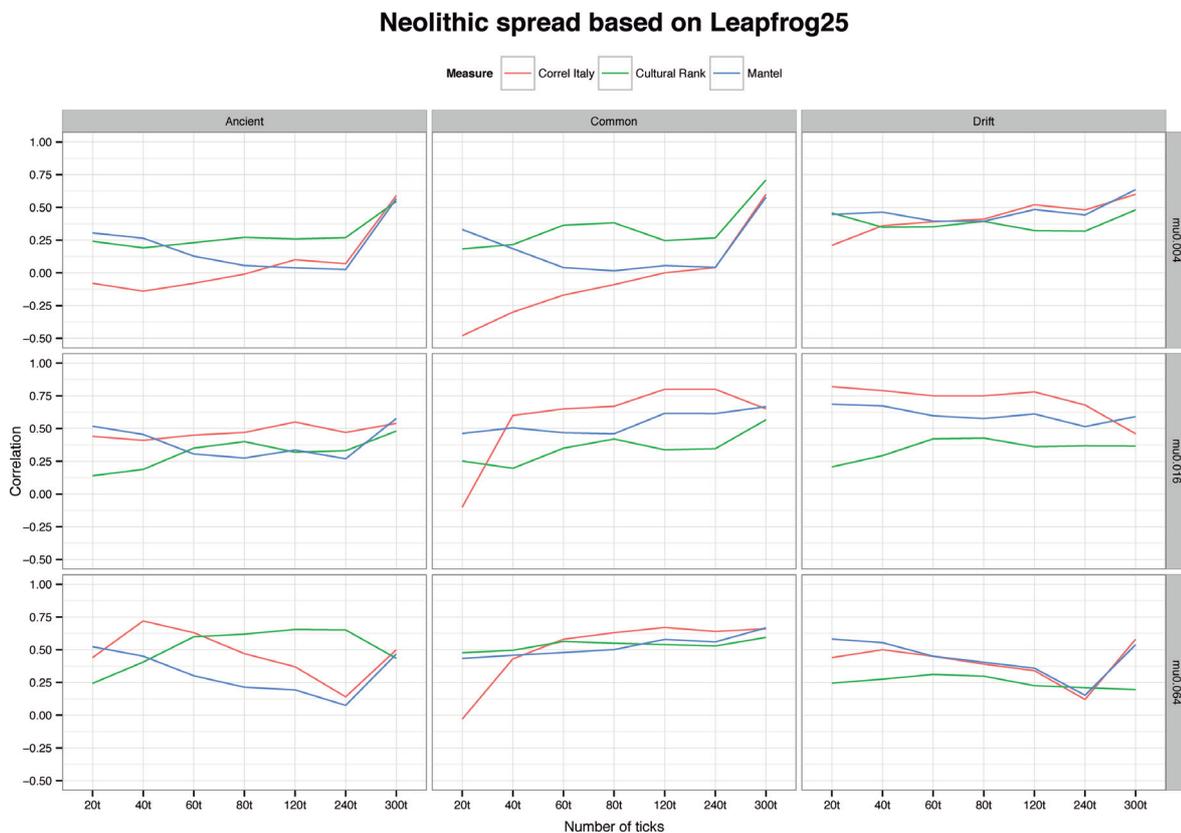


Figure 6.11: Results associated with the leapfrog 25 expansion process. Comparison between three mutation rate.

As expected, the measurements behave very differently depending on the variables used. In the Mantel test, for example, three types of conduct are documented: a) scenarios in which a high correlation is documented which is diminishing over time, and only when the accumulated time average is situated around 300 ticks does the correlation increase to a value similar to that obtained with a low number of ticks; b) scenarios in which the correlation value decreases as the number of ticks accumulated increases; and c) scenarios which present a trend opposite to that in the previous case, i.e. the correlation value increases in line with the time average. As far as the correlation between spatial-cultural distance is concerned, three general trends are again observed: a) scenarios in which the correlation shows a gradual reduction over time; b) scenarios in which the correlation value is seen to increase in line with the time average, although in some cases there is a sharp increase in the correlation at around 300 ticks; and c) scenarios in which an increase in the correlation –40 ticks– is documented, from which point we see a gradual reduction of this result, then when the number of ticks reaches 300 we again see the correlation increase to a value similar to that documented at the beginning of the time average. Finally, as regards cultural rank, we once again have three documented behaviours: a) scenarios in which the measurement presents similar values over time, albeit with slight fluctuations; b) scenarios in which the trend is characterized by an increase in the value of cultural rank at the very beginning, followed by a stabilization and then a decrease in the result at around 300 ticks; and c) scenarios characterized by a constant increase in cultural rank over time.

The next case involves an expansion process based on “leap30” (figure 6.12) and, like the previous case, allows us to observe the behaviour of the statistical measurements in relation to the control, mutation rate and interaction process variables.

In this case the Mantel test presents the following trends: a) scenarios in which a gradual increase in the correlation is observed over time; b) scenarios that show the same trend as in the previous case, but at 120 ticks a reduction in the correlation is observed; c) scenarios characterized by a reduction in the correlation over time, and only when the time average is high –300 ticks– does the correlation show an increase, locating it at a value similar to that documented at the beginning of the time average; and d) scenarios in which the correlation value shows a gradual decrease until 60 accumulated ticks, when the trend changes due to the constantly increasing result, with a sharp increase at around 300 ticks. As regards the spatial-cultural distance, three trends have been observed as follows: a) scenarios in which the correlation is characterized by a gradual reduction that undergoes a sharp drop at around 120 ticks then rises back to a high value of around 300 ticks, lower than at the beginning; b) scenarios in which there is a gradual increase in the correlation with slight fluctuations over time; and c) scenarios characterized by a considerable increase in the correlation in the temporal range of 20-40 ticks, followed by constant growth in the value up to 240 ticks when it again diminishes. Finally, as far as cultural rank is concerned, three behaviours have again been observed: a) scenarios with

Neolithic spread based on Leapfrog 30

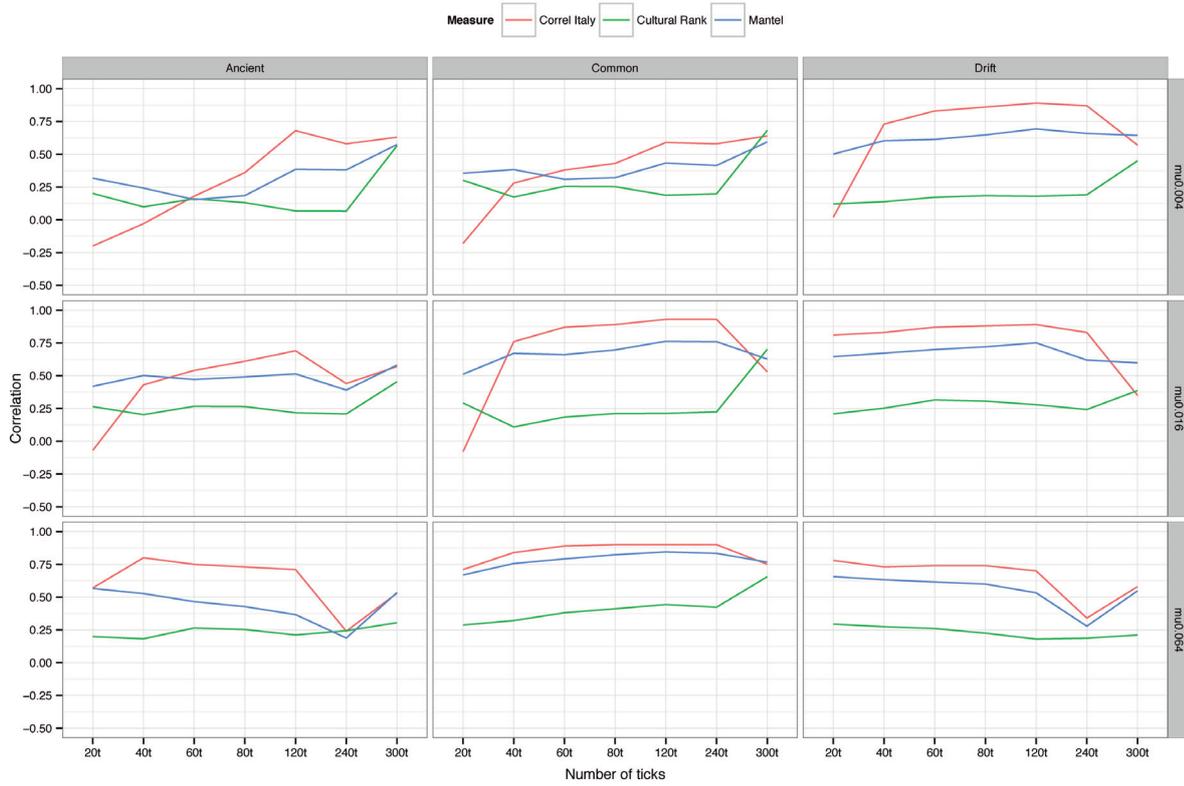


Figure 6.12: Results associated with the leapfrog 30 expansion process. Comparison between three mutation rate.

Neolithic spread based on wave of advance

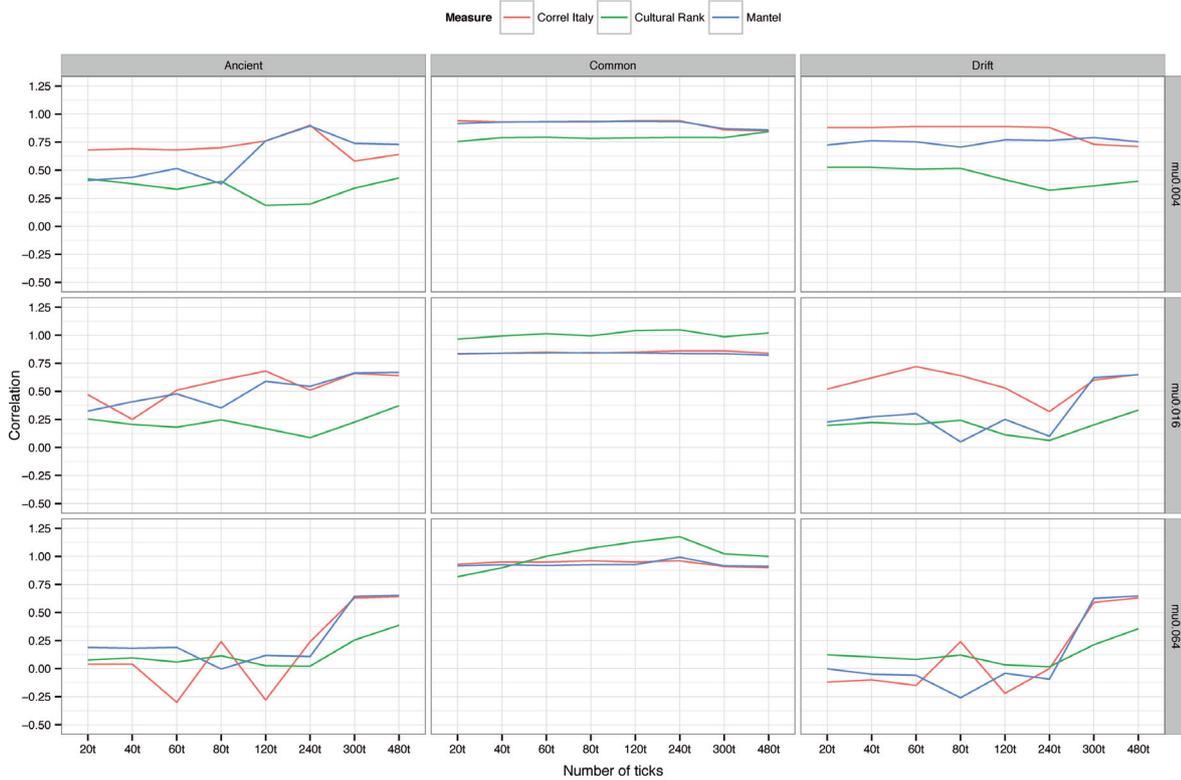


Figure 6.13: Results associated with the wave-of-advance process. Comparison between three mutation rate.

a cultural difference that is more or less stable over time, followed by a sharp increase when the time accumulated in each region reaches 300; b) scenarios with a smooth decrease in cultural difference in line with increases in the time average; and c) scenarios characterized by a sharp decrease in cultural difference at around 40 ticks, from which point it increases constantly up to 300 ticks when growth increases considerably.

The final case to be described corresponds to the expansion process based on wave of advance (figure 6.13) and has the same aim as the previous cases.

Following the Mantel test, we can document two broad trends: a) scenarios with a correlation value that is stable over time; and b) scenarios in which the correlation increases over time, although at certain points it shows a decrease in value. To put it another way, these cases present correlation curves characterized by “saw teeth”. With regard to spatial-cultural distance, we document three behaviours as described below: a) scenarios with a gradual increase in the correlation, although at certain points the correlation presents a sharp decrease; b) scenarios characterized by the presence of the “saw tooth” phenomenon in the correlation; and c) scenarios that present values that are stable over time or with values that show a decrease in the correlation at around 300 ticks. Finally the cultural rank measurement presents three trends: a) scenarios with a gradual reduction in cultural difference, then an increase in this value at around 240 ticks; b) scenarios characterized by a value for cultural rank that remains stable over time; and c) scenarios in which the difference is increasing over time, then, like with the first trend described, a decrease in cultural rank is documented at around 240 ticks.

Now that we have described all three expansion processes in relation to the two control variables used –mutation rate and interaction process– we see that there is a wide range of results. From our point of view, the different trends of the proxies used need to be associated with the influence of all the variables considered in the work, as was to be expected, because if the movement had no effect we would have ended up with similar trends, at least in the case of expansion based on leapfrog.

The question that now emerges is how to identify the most plausible scenarios. The answer will no doubt be very complex because, although we know the trends that each of the measurements associated with cultural hitchhiking should follow, we do not know the value associated with the correlation. In other words, as we saw in Section 6.3.1.2, the measurements used should have the following pattern:

1.- *Correlation with respect to southern Italy*: This should present a high degree of correlation between southern Italy and all the other regions. The trend should correspond to the assumption that culture has a neutral character. As we have seen in the examples above, this correlation is highly variable depending on the scenario simulated.

2.- *Cultural rank*: According to the cultural hitchhiking hypothesis, this should produce low values between the cultural distances nearest and furthest from the possible point of origin

of the Neolithic expansion. In the examples presented we see that this measurement shows different patterns depending on the variables considered.

3.- *Mantel test*: In line with the cultural hitchhiking hypothesis, this should present a similar trend to the correlation with respect to southern Italy. In other words the Mantel result should produce a high degree of correlation because it is calculated following the same criterion as the first variable, except that it is associated with all the regions considered over a similar period of time.

To illustrate the possible influence of cultural hitchhiking we have decided to compare three different scenarios using constant movement and mutation rates –leapfrog 30 and μ 0.016 respectively (figure 6.14). It can be seen in the three interaction processes that cultural hitchhiking may exist, but its identification varies according to time.

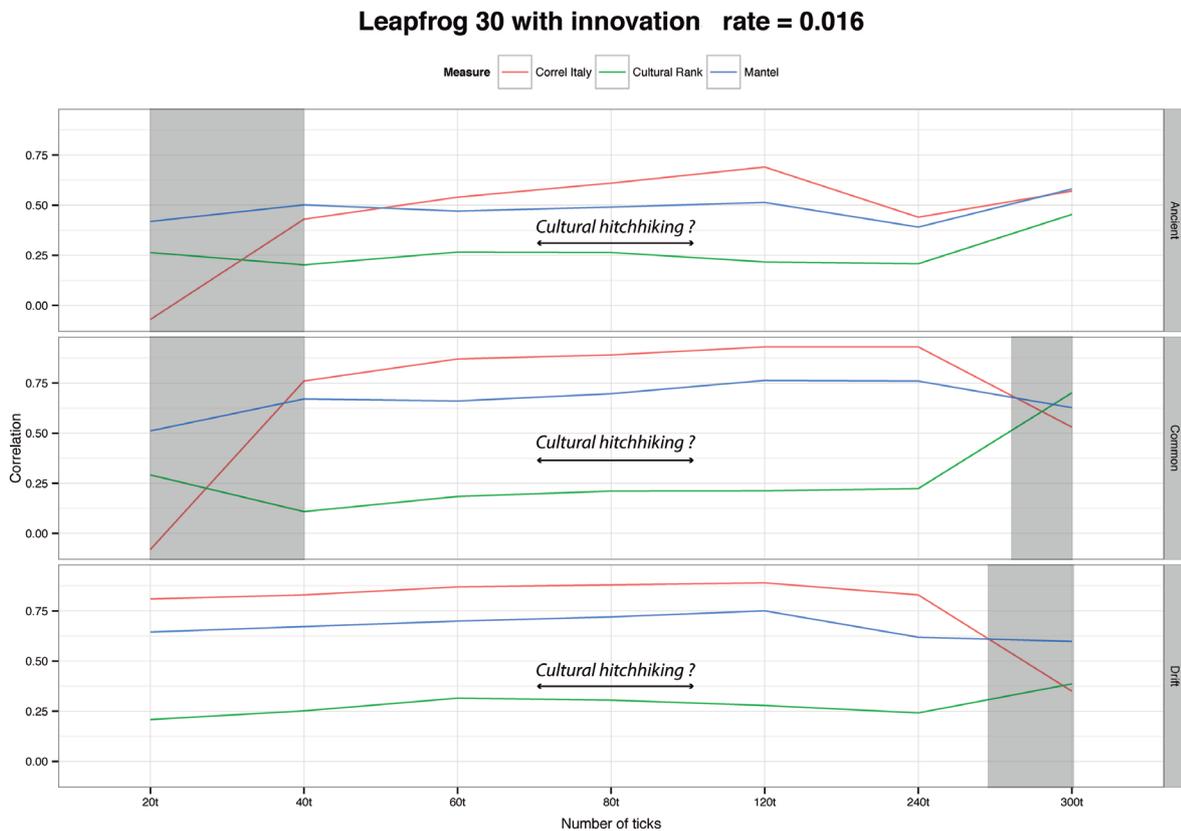


Figure 6.14: Example of possible cultural hitchhiking. Shaded those ticks where the Cultural hitchhiking’s signal fades.

As can be intuited, the drift scenario produces expected behaviour: high correlations at the start and slight cultural difference. The remaining scenarios, “ancient” and “common” take longer to produce the combination of values assumed for cultural hitchhiking. This means that if any of these processes had been responsible, we would need more time to find a “*more homogeneous*” spatial-cultural pattern, around 40-60 time-steps. If we analyse the specific case

of drift, cultural hitchhiking is observed from the beginning of the simulation and, according to the time estimates made in the previous chapter –experiment 2–, would be present at least from the 2nd generation, around 50 years, then fading away at around 260 ticks. But does the mutation rate influence these behaviours? To find out we have decided to use the specific case of drift associated with “leap30” (figure 6.15).

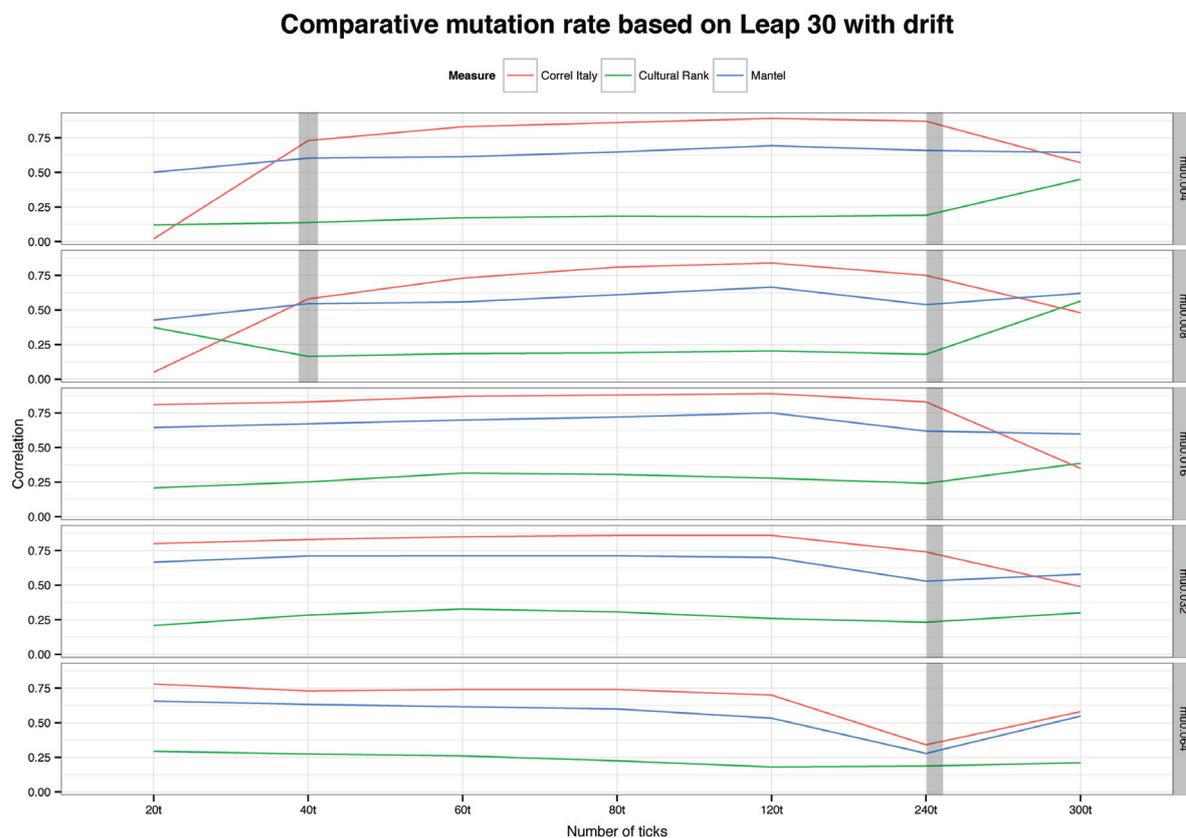


Figure 6.15: Comparison between different mutation rates, expansion based on leapfrog30 and drift interaction. In grey the moment where there is a change trend”

Figure 6.15 is certainly revealing because, as we can see, when simulation is carried out using a low mutation rate, more time has to pass before we can identify the possible effect of cultural hitchhiking. Independently of the mutation rate, however, at around 240 ticks we see a change of trend in the various statistical measurements that could be related to the cultural fragmentation documented at the end of the ancient Neolithic.

In short, on the basis of these results we now have a series of different scenarios regarding cultural-geographical correlation and its range of variation. This variability is mainly due to the influence of the movement, interaction and mutation variables. The aim of our model was to *virtualize* the spread of the farming and livestock system along with culture, although the farming and livestock system had to follow certain evolutionary rules. We should also stress that our proposed model of cultural expansion is a *pure* expansion model, i.e. it shows no other interferences such as the pre-existing population in the colonized territory –Mesolithic groups–. The

results of the model suggest the pattern by which the “culture” of the earliest Neolithic groups in the western Mediterranean was structured and the cultural distance between the various regions with respect to the expansion process’s point of origin, southern Italy. All in all the results present some interesting variations which only through comparison with the archaeological record will enable us to establish which scenario(s) may be most plausible, an aspect that we will look at in the next chapter.

Table 6A "MANTEL TEST

	Ip25	m4Anc	P	m4Com	P	m4Drift	P	m8Anc	P	m8Com	P	m8Drift	P	m16Anc	P	m16Com	P	m16Drift	P	m32Anc	P	m32Com	P	m32Drift	P	m64Anc	P	m64Com	P	m64Drift	P
20t	0.30	0.00	0.33	0.00	0.45	0.00	0.31	0.00	0.35	0.00	0.62	0.00	0.52	0.00	0.46	0.00	0.69	0.00	0.45	0.00	0.60	0.00	0.53	0.00	0.52	0.00	0.43	0.00	0.58	0.00	
40t	0.26	0.01	0.18	0.05	0.46	0.00	0.22	0.03	0.36	0.00	0.63	0.00	0.45	0.00	0.51	0.00	0.67	0.00	0.45	0.00	0.62	0.00	0.55	0.00	0.45	0.00	0.46	0.00	0.55	0.00	
60t	0.13	0.10	0.04	0.29	0.40	0.00	0.15	0.08	0.33	0.00	0.52	0.00	0.31	0.01	0.47	0.00	0.60	0.00	0.34	0.00	0.63	0.00	0.52	0.00	0.30	0.01	0.48	0.00	0.45	0.00	
80t	0.06	0.24	0.02	0.38	0.39	0.00	0.15	0.08	0.33	0.00	0.49	0.00	0.27	0.01	0.46	0.00	0.58	0.00	0.27	0.00	0.63	0.00	0.51	0.00	0.21	0.04	0.50	0.00	0.40	0.00	
120t	0.04	0.29	0.06	0.24	0.48	0.00	0.26	0.02	0.47	0.00	0.56	0.00	0.34	0.00	0.62	0.00	0.61	0.00	0.22	0.03	0.70	0.00	0.49	0.00	0.19	0.04	0.58	0.00	0.36	0.00	
240t	0.03	0.33	0.04	0.29	0.44	0.00	0.20	0.04	0.58	0.00	0.53	0.00	0.27	0.01	0.61	0.00	0.52	0.00	0.22	0.03	0.70	0.00	0.33	0.00	0.07	0.18	0.56	0.00	0.15	0.00	
300t	0.57	0.00	0.58	0.00	0.64	0.00	0.58	0.00	0.59	0.00	0.62	0.00	0.58	0.00	0.67	0.00	0.59	0.00	0.53	0.00	0.70	0.00	0.55	0.00	0.47	0.00	0.67	0.00	0.54	0.00	
Ip30																															
20t	0.32	0.00	0.36	0.00	0.50	0.00	0.40	0.00	0.52	0.00	0.43	0.00	0.42	0.00	0.51	0.00	0.65	0.00	0.52	0.00	0.50	0.00	0.67	0.00	0.57	0.00	0.67	0.00	0.66	0.00	
40t	0.24	0.02	0.38	0.02	0.60	0.00	0.39	0.02	0.40	0.02	0.55	0.02	0.50	0.02	0.67	0.02	0.67	0.02	0.63	0.02	0.57	0.02	0.71	0.02	0.53	0.02	0.76	0.02	0.63	0.02	
60t	0.15	0.08	0.31	0.00	0.61	0.00	0.33	0.00	0.29	0.01	0.56	0.00	0.47	0.00	0.66	0.00	0.70	0.00	0.60	0.00	0.57	0.00	0.71	0.00	0.47	0.00	0.79	0.00	0.62	0.00	
80t	0.18	0.05	0.32	0.00	0.65	0.00	0.36	0.00	0.30	0.00	0.61	0.00	0.49	0.00	0.70	0.00	0.72	0.00	0.61	0.00	0.59	0.00	0.71	0.00	0.43	0.00	0.82	0.00	0.60	0.00	
120t	0.39	0.00	0.43	0.00	0.69	0.00	0.46	0.00	0.39	0.00	0.67	0.00	0.51	0.00	0.76	0.00	0.75	0.00	0.58	0.00	0.63	0.00	0.70	0.00	0.37	0.00	0.84	0.00	0.53	0.00	
240t	0.38	0.00	0.41	0.00	0.66	0.00	0.43	0.00	0.53	0.00	0.54	0.00	0.39	0.00	0.76	0.00	0.62	0.00	0.33	0.00	0.63	0.00	0.53	0.00	0.19	0.05	0.83	0.00	0.28	0.01	
300t	0.57	0.00	0.59	0.00	0.64	0.00	0.58	0.00	0.60	0.00	0.62	0.00	0.58	0.00	0.63	0.00	0.60	0.00	0.56	0.00	0.68	0.00	0.58	0.00	0.53	0.00	0.77	0.00	0.55	0.00	
wave																															
20t	0.41	0.00	0.92	0.00	0.72	0.00	0.15	0.07	0.92	0.00	0.58	0.00	0.32	0.01	0.84	0.00	0.23	0.01	0.21	0.05	0.94	0.00	0.11	0.12	0.19	0.06	0.92	0.00	0.00	0.49	
40t	0.44	0.00	0.93	0.00	0.76	0.00	0.28	0.00	0.93	0.00	0.63	0.00	0.41	0.00	0.84	0.00	0.27	0.00	0.28	0.02	0.95	0.00	0.19	0.04	0.18	0.08	0.93	0.00	-0.05	0.64	
60t	0.52	0.00	0.93	0.00	0.75	0.00	0.48	0.00	0.95	0.00	0.63	0.00	0.48	0.00	0.84	0.00	0.30	0.00	0.30	0.00	0.95	0.00	0.18	0.05	0.19	0.07	0.92	0.00	-0.06	0.65	
80t	0.38	0.00	0.93	0.00	0.71	0.00	0.16	0.05	0.95	0.00	0.53	0.00	0.35	0.00	0.84	0.00	0.05	0.47	0.02	0.41	0.96	0.00	-0.19	0.97	0.00	0.48	0.93	0.00	-0.26	0.99	
120t	0.76	0.00	0.94	0.00	0.77	0.00	0.67	0.00	0.96	0.00	0.58	0.00	0.59	0.00	0.84	0.00	0.25	0.00	0.27	0.00	0.96	0.00	0.02	0.37	0.12	0.15	0.93	0.00	-0.04	0.56	
240t	0.89	0.00	0.93	0.00	0.76	0.00	0.80	0.00	0.96	0.00	0.45	0.00	0.54	0.00	0.84	0.00	0.10	0.18	0.24	0.03	0.95	0.00	0.05	0.28	0.11	0.16	0.99	0.00	-0.09	0.77	
300t	0.74	0.00	0.87	0.00	0.79	0.00	0.70	0.00	0.91	0.00	0.66	0.00	0.66	0.00	0.83	0.00	0.62	0.00	0.64	0.00	0.93	0.00	0.63	0.00	0.64	0.00	0.92	0.00	0.63	0.00	
480t	0.73	0.00	0.86	0.00	0.75	0.00	0.70	0.00	0.90	0.00	0.65	0.00	0.67	0.00	0.82	0.00	0.65	0.00	0.65	0.00	0.91	0.00	0.65	0.00	0.65	0.00	0.91	0.00	0.65	0.00	

6. VIRTUAL RESULTS

Table 6C "CULTURAL RANK"															
lp25	m4Anc	m4Com	M4Drift	m8Anc	m8Com	m8Drift	m16Anc	m16Com	m16Drift	m32Anc	m32Com	m32Drift	m64Anc	m64Com	m64Drift
20t	0.24	0.18	0.46	0.43	0.26	0.16	0.14	0.25	0.21	0.28	0.32	0.15	0.24	0.48	0.24
40t	0.19	0.22	0.35	0.24	0.16	0.20	0.19	0.20	0.29	0.26	0.34	0.22	0.41	0.50	0.27
60t	0.23	0.36	0.35	0.34	0.23	0.42	0.35	0.35	0.42	0.29	0.41	0.37	0.60	0.56	0.31
80t	0.27	0.38	0.39	0.35	0.28	0.47	0.40	0.42	0.43	0.32	0.47	0.39	0.62	0.55	0.30
120t	0.26	0.25	0.32	0.22	0.26	0.42	0.32	0.34	0.36	0.30	0.46	0.36	0.65	0.54	0.23
240t	0.27	0.27	0.32	0.21	0.29	0.42	0.33	0.35	0.37	0.29	0.46	0.33	0.65	0.53	0.21
300t	0.55	0.71	0.48	0.41	1.24	0.47	0.48	0.57	0.37	0.38	0.69	0.32	0.43	0.59	0.20

lp30	m4Anc	m4Com	M4Drift	m8Anc	m8Com	m8Drift	m16Anc	m16Com	m16Drift	m32Anc	m32Com	m32Drift	m64Anc	m64Com	m64Drift
20t	0.20	0.30	0.12	0.14	0.15	0.37	0.26	0.29	0.21	0.37	0.26	0.21	0.20	0.29	0.29
40t	0.10	0.17	0.14	0.12	0.13	0.16	0.20	0.11	0.25	0.19	0.27	0.28	0.18	0.32	0.27
60t	0.16	0.25	0.17	0.15	0.21	0.19	0.27	0.18	0.32	0.24	0.32	0.33	0.26	0.38	0.26
80t	0.13	0.25	0.18	0.15	0.21	0.19	0.26	0.21	0.31	0.22	0.34	0.31	0.25	0.41	0.22
120t	0.07	0.19	0.18	0.11	0.17	0.20	0.22	0.21	0.28	0.19	0.35	0.26	0.21	0.44	0.18
240t	0.07	0.20	0.19	0.14	0.22	0.18	0.21	0.22	0.24	0.20	0.36	0.23	0.24	0.42	0.19
300t	0.56	0.68	0.45	0.52	0.69	0.56	0.45	0.70	0.39	0.39	0.61	0.30	0.30	0.66	0.21

wave	m4Anc	m4Com	M4Drift	m8Anc	m8Com	m8Drift	m16Anc	m16Com	m16Drift	m32Anc	m32Com	m32Drift	m64Anc	m64Com	m64Drift
20t	0.42	0.75	0.53	0.33	0.92	0.33	0.25	0.97	0.20	0.13	0.83	0.16	0.08	0.82	0.12
40t	0.38	0.79	0.53	0.28	0.90	0.37	0.21	0.99	0.22	0.11	0.87	0.09	0.10	0.90	0.10
60t	0.33	0.79	0.51	0.24	0.91	0.40	0.18	1.01	0.21	0.10	0.91	0.08	0.06	1.00	0.08
80t	0.40	0.78	0.52	0.34	0.90	0.43	0.25	0.99	0.24	0.16	0.92	0.13	0.11	1.07	0.12
120t	0.19	0.79	0.41	0.19	0.91	0.30	0.17	1.04	0.11	0.07	0.96	0.06	0.03	1.13	0.03
240t	0.20	0.79	0.32	0.18	0.93	0.20	0.09	1.05	0.06	0.03	1.01	0.03	0.02	1.18	0.02
300t	0.34	0.79	0.36	0.28	0.85	0.24	0.23	0.99	0.20	0.21	0.95	0.20	0.25	1.02	0.21
480t	0.43	0.84	0.40	0.35	0.90	0.33	0.37	1.02	0.33	0.35	0.98	0.34	0.39	1.00	0.36

Table 6B "CORRELATION BETWEEN CULTURAL DISTANCE AND CHEBYSHEV DISTANCE

lp25	m4Anc	P	m4Com	P	m4Drift	P	m8Anc	P	m8Com	P	m8Drift	P	m16Anc	P	m16Com	P	m16Drift	P	m32Anc	P	m32Com	P	m32Drift	P	m64Anc	P	m64Com	P	m64Drift	P
20t	-0.08	0.65	-0.48	0.00	0.21	0.24	-0.11	0.52	-0.32	0.06	0.83	0.00	0.44	0.01	-0.10	0.56	0.82	0.00	0.42	0.00	0.30	0.08	0.18	0.31	0.44	0.01	-0.03	0.87	0.44	0.01
40t	-0.14	0.42	-0.30	0.08	0.36	0.04	-0.28	0.10	-0.21	0.23	0.87	0.00	0.41	0.02	0.60	0.00	0.79	0.00	0.61	0.00	0.45	0.01	0.61	0.00	0.72	0.00	0.43	0.01	0.50	0.00
60t	-0.08	0.65	-0.17	0.34	0.39	0.02	0.08	0.63	0.09	0.59	0.70	0.00	0.45	0.01	0.65	0.00	0.75	0.00	0.47	0.00	0.67	0.00	0.66	0.00	0.63	0.00	0.58	0.00	0.45	0.01
80t	-0.01	0.97	-0.09	0.60	0.41	0.01	0.23	0.18	0.27	0.12	0.69	0.00	0.47	0.00	0.67	0.00	0.75	0.00	0.43	0.00	0.71	0.00	0.62	0.00	0.47	0.00	0.63	0.00	0.39	0.02
120t	0.10	0.57	0.00	1.00	0.52	0.00	0.46	0.01	0.25	0.16	0.75	0.00	0.55	0.00	0.80	0.00	0.78	0.00	0.43	0.01	0.76	0.00	0.62	0.00	0.37	0.03	0.67	0.00	0.34	0.05
240t	0.07	0.71	0.04	0.80	0.48	0.00	0.30	0.08	0.61	0.00	0.73	0.00	0.47	0.00	0.80	0.00	0.68	0.00	0.33	0.05	0.77	0.00	0.45	0.01	0.43	0.64	0.00	0.12	0.48	
300t	0.59	0.00	0.60	0.00	0.60	0.00	0.58	0.00	0.58	0.00	0.43	0.01	0.54	0.00	0.65	0.00	0.46	0.01	0.54	0.00	0.71	0.00	0.50	0.00	0.66	0.00	0.58	0.00	0.58	0.00
lp30	m4Anc	P	m4Com	P	m4Drift	P	m8Anc	P	m8Com	P	m8Drift	P	m16Anc	P	m16Com	P	m16Drift	P	m32Anc	P	m32Com	P	m32Drift	P	m64Anc	P	m64Com	P	m64Drift	P
20t	-0.20	0.26	-0.18	0.30	0.02	0.90	-0.14	0.42	-0.14	0.41	0.05	0.76	-0.07	0.67	-0.08	0.66	0.81	0.00	0.52	0.00	0.25	0.14	0.80	0.00	0.57	0.00	0.71	0.00	0.78	0.00
40t	-0.03	0.86	0.28	0.10	0.73	0.00	-0.03	0.84	0.30	0.08	0.58	0.00	0.43	0.01	0.76	0.00	0.83	0.00	0.85	0.00	0.50	0.00	0.83	0.00	0.80	0.00	0.84	0.00	0.73	0.00
60t	0.18	0.30	0.38	0.02	0.83	0.00	0.46	0.01	0.36	0.04	0.73	0.00	0.54	0.00	0.87	0.00	0.87	0.00	0.84	0.00	0.66	0.00	0.85	0.00	0.75	0.00	0.89	0.00	0.74	0.00
80t	0.36	0.03	0.43	0.01	0.86	0.00	0.68	0.00	0.41	0.01	0.81	0.00	0.61	0.00	0.89	0.00	0.88	0.00	0.87	0.00	0.71	0.00	0.86	0.00	0.73	0.00	0.90	0.00	0.74	0.00
120t	0.68	0.00	0.59	0.00	0.89	0.00	0.86	0.00	0.60	0.00	0.84	0.00	0.69	0.00	0.93	0.00	0.89	0.00	0.87	0.00	0.74	0.00	0.86	0.00	0.71	0.00	0.90	0.00	0.70	0.00
240t	0.58	0.00	0.58	0.00	0.87	0.00	0.65	0.00	0.64	0.00	0.75	0.00	0.44	0.01	0.93	0.00	0.83	0.00	0.50	0.00	0.74	0.00	0.74	0.00	0.24	0.17	0.90	0.00	0.34	0.05
300t	0.63	0.00	0.64	0.00	0.57	0.00	0.56	0.00	0.67	0.00	0.48	0.00	0.57	0.00	0.53	0.00	0.35	0.04	0.50	0.00	0.69	0.00	0.49	0.00	0.53	0.00	0.75	0.00	0.58	0.00
wave	m4Anc	P	m4Com	P	m4Drift	P	m8Anc	P	m8Com	P	m8Drift	P	m16Anc	P	m16Com	P	m16Drift	P	m32Anc	P	m32Com	P	m32Drift	P	m64Anc	P	m64Com	P	m64Drift	P
20t	0.68	0.00	0.94	0.00	0.88	0.00	0.53	0.01	0.93	0.00	0.61	0.00	0.47	0.02	0.83	0.00	0.52	0.01	0.31	0.12	0.94	0.00	0.12	0.55	0.04	0.93	0.00	-0.12	0.57	
40t	0.69	0.00	0.93	0.00	0.88	0.00	0.43	0.03	0.94	0.00	0.74	0.00	0.25	0.22	0.84	0.00	0.62	0.00	0.36	0.07	0.95	0.00	0.32	0.12	0.04	0.95	0.00	-0.10	0.64	
60t	0.68	0.00	0.93	0.00	0.89	0.00	0.54	0.00	0.94	0.00	0.73	0.00	0.51	0.01	0.85	0.00	0.72	0.00	0.37	0.06	0.96	0.00	0.29	0.15	-0.30	0.14	0.95	0.00	-0.15	0.45
80t	0.70	0.00	0.93	0.00	0.89	0.00	0.59	0.00	0.94	0.00	0.79	0.00	0.60	0.00	0.84	0.00	0.64	0.00	0.33	0.10	0.96	0.00	0.50	0.01	0.24	0.24	0.96	0.00	0.24	0.23
120t	0.76	0.00	0.94	0.00	0.89	0.00	0.68	0.00	0.95	0.00	0.75	0.00	0.68	0.00	0.85	0.00	0.53	0.00	0.23	0.27	0.96	0.00	-0.03	0.88	-0.28	0.17	0.95	0.00	-0.22	0.28
240t	0.90	0.00	0.94	0.00	0.88	0.00	0.76	0.00	0.96	0.00	0.66	0.00	0.51	0.01	0.86	0.00	0.32	0.11	0.24	0.23	0.95	0.00	-0.05	0.82	0.24	0.96	0.00	0.00	0.99	
300t	0.58	0.00	0.86	0.00	0.73	0.00	0.61	0.00	0.90	0.00	0.59	0.00	0.66	0.00	0.86	0.00	0.60	0.00	0.62	0.00	0.94	0.00	0.61	0.00	0.63	0.00	0.91	0.00	0.59	0.00
480t	0.64	0.00	0.85	0.00	0.71	0.00	0.66	0.00	0.88	0.00	0.62	0.00	0.64	0.00	0.84	0.00	0.65	0.00	0.64	0.00	0.92	0.00	0.64	0.00	0.64	0.00	0.90	0.00	0.63	0.00

7

BRINGING THE VIRTUAL WORLD AND THE REAL WORLD TOGETHER

In this chapter the results we obtained virtually will be compared with the archaeological information we have compiled. First of all we present the temporal organization of the documentation, which means we have to define the time windows and regions that will be used. We will then go on to show the empirical information for each area organized into cultural phases, pointing out the main problems. The next step involves comparing the archaeological information with the data obtained from the computer modelling, and then finally we discuss the results obtained and present possible courses of action for the future.

7.1 Time and space: time windows and archaeological regions

In this section we focus on two fundamental questions that need to be dealt with before we select the cultural information: time and space. In other words, what temporal ranges and geographical regions are we going to use to compare with the virtual data?

7.1.1 The time windows

Due to the nature of the archaeological information used in this work, the chronological details we have are never going to be the same as the details obtained in the virtual world. Therefore the main question we need to ask ourselves is how we are going to divide up the archaeological information in order to have temporal ranges that can be compared with the virtual record.

The empirical record for the western Mediterranean and the uncertainty of radiocarbon dating lead us to organize our archaeological information into two chronological periods of variable duration that will still allow us to make comparable correlations between the various regions in a similar way to how they are made in the virtual world. On the basis of the results obtained in previous chapters, these periods should cover a temporal range of between 40-80 and 120-240 ticks depending on the expansion process simulated. In this case we decided to divide the empirical record into two time windows covering up to 150 and 300 years respectively. From our point of view, establishing more temporal divisions in the archaeological sample, although possible, would mean fragmenting the already small sample into very limited pottery assemblages that might be unsuitable for comparing with the virtual record. The phases we will use have been dubbed *impressa* and *late impressa*, which in this work have a purely chronological meaning that is not necessarily a reflection of culture in the traditional sense, following the proposal made in a recent paper (Bernabeu, Manen & Pardo Gordó, forthcoming).

7.1.1.1 Phase A: "impressa"

As mentioned when describing our objectives, our intention is to investigate whether there is a clear cultural pattern that could be related to expansion from southern Italy. We will not describe the main assemblages associated with the *impressa* phase because this information can already be found in a number of different papers (Bernabeu, Manen & Pardo Gordó,

forthcoming; Bernabeu et al. 2009; Guilaine, Manen & Vigne 2007; Fugazzola, Pessina & Tiné 2002). We will, however, point out that these assemblages have been found throughout the western Mediterranean (Guilaine 2014). In the Liguria-Provence arc they have been documented at various sites such as Arene Candide and Pendimoun (Binder & Maggi 2001; Maggi 2002). In the south of France, to the west of the Rhone valley, these early appearances of pottery have also been documented at the Peiro Signado and Pont de Roque-Haute sites (Guilaine, Manen & Vigne 2007; Briois & Manen 2009), confirming Manen's suggestion regarding the existence of a horizon prior to the cardial (Manen 2000, 40). These already classic assemblages have been joined in the last few years by various areas of the Iberian Peninsula, such as the central districts of the Valencia region (Bernabeu et al. 2009; García Atienzar 2010; Soler Díaz et al. 2013) and the Ebro valley (Utrilla & Mazo 2014; Rojo, Garrido Pena & García-Martínez de Lagrán 2008). Certain areas of southern and central Iberia could even be associated with this phase. We refer to level IV of the Nerja caves (Aura Tortosa et al. 2013; García Borja et al. 2014), the sites at Padrao, Cabranosa and Almonda on the coast of Portugal (Zilhão & Carvalho 2011; Zilhão 2009; Carvalho 2008) and the open-air site at La Paleta, Toledo (Jiménez Guijarro 2008; 2010). Finally, as regards the islands of the western Mediterranean, the Isola del Giglio (Brandaglia 1991) off the coast of Tuscany should be joined by the Campu Stephanu site (Cesari et al. 2014) on the island of Corsica.

7.1.1.2 Phase B: “late impressa”

This stage corresponds to appearances of pottery documented around 150 years after the earliest documented appearances. We will not describe the main assemblages associated with the *late impressa* phase because the information can be found in various different papers –see below–. However, we should point out that these assemblages are known under different names based on regional syntheses. In the case of southern Italy, this stage is called the *impressa evoluta* or *Guadone phase* and the literature dealing with its characteristics and most representative sites can easily be traced (Natali 2014; Radi & Grifoni Cremonesi 2014; Radi 2010; Muntoni 2003; S. Tiné 1983). The rest of the western Mediterranean, i.e. the areas to the west of the Tyrrhenian Sea, is known in the literature as the Franco-Iberian group (Manen 2002) and, as in the previous case, its characteristics, cultural groups and main assemblages can readily be found in the archaeological literature (Martínez de Lagrán 2014; Alday 2011a; Bernabeu, Rojo & Molina 2011; Manen et al. 2010; Manen & Perrin 2009; Rojo et al. 2008; Guilaine & Manen 2002).

7.1.2 The archaeological regions

We will now describe the real regions to be used in our investigation, indicating when pottery first appeared in each case based on a summed calibrated radiocarbon date probability distribution –SCDPD–. The point of origin of the appearance of pottery is established in the

SCDPD when the accumulated probability in the radiocarbon curve is equal to 0.01. We realize that probability selection is a random criterion for establishing point of origin, but the procedure may prove very useful given that it is not designed to give the real date for each location but rather a *hypothetical* point of origin obtained in a similar way for all regions.

7.1.2.1. Southern Italy

This area has been divided into two different regions –Southern Italy 1 and 2– both located to the south of the Gargano Peninsula. As far as Southern Italy 1 is concerned, the initial date considered for the region comes from the settlement at Favella (Tinè 2009) and, after applying the protocol for selecting dates associated with the region, we end up with a total of 24 dates corresponding to 7 sites. Figure 7.1 presents the SCDPD for region 1. It should be noted that the two $\Delta T > 100$ dates originating from the Torre Sabea site (TAN88066 and TAN88247) have been combined to obtain a standard deviation lower than the limit established in the protocol. As can be seen from the SCDPD, the start of pottery has been set at around 7930 cal BP.

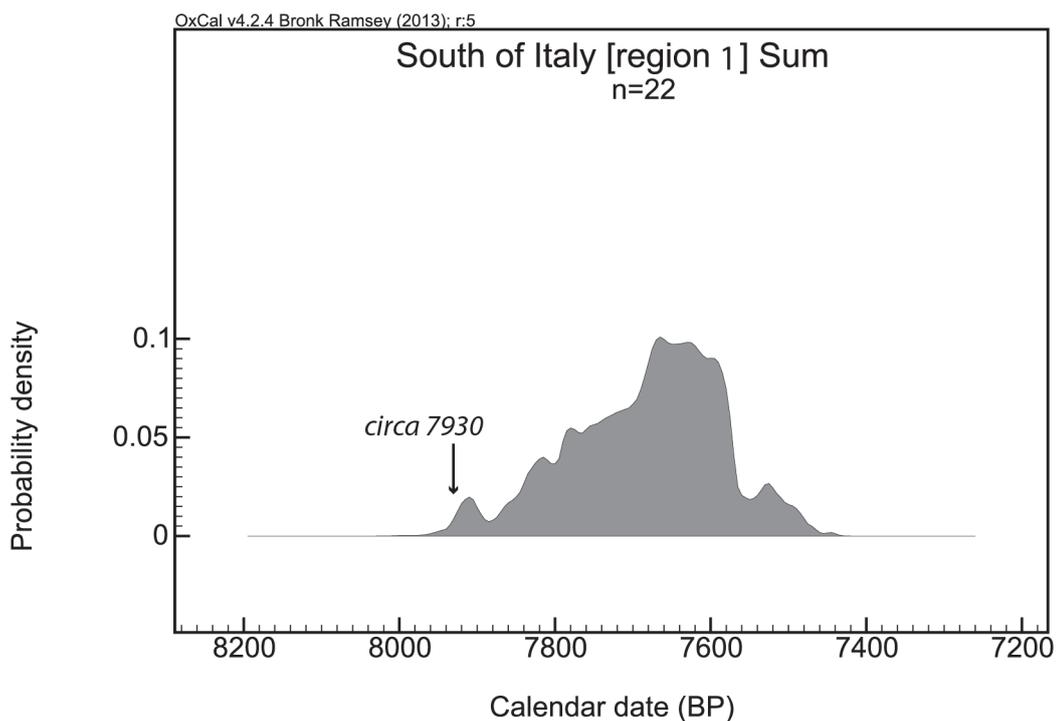


Figure 7.1: SCDPD associated with Southern Italy 1. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

Selecting the date considered as the start of the earliest appearance of pottery is not straightforward because the first date on short-life materials associated with the *impressa* phase comes from the Copa Navigata site, although higher dates have been obtained on carbon from the sites at Pulo di Molfetta and Defensola. The date obtained from unit 10 of the Pulo di Molfetta site was considered when constructing the SCDPD given that there are no doubts as to the

presence of *impressa arcaica* pottery there (Radina 2005, cited in Tiné 2009, 517). The dates used to calculate the sum of probability for this region (figure 7.2) are situated between 7134 and 6734 BP. However, because we are using some classic sites of the *late impressa* phase such as Masseria Candelaro (Cassano & Manfredini 2005), we have decided to generally incorporate dates up to 6550. Hence for the Tavoliere region we have a total of 17 radiocarbon dates involving 10 archaeological sites. The beginning of pottery in this region has been set at around 7960 cal BP.

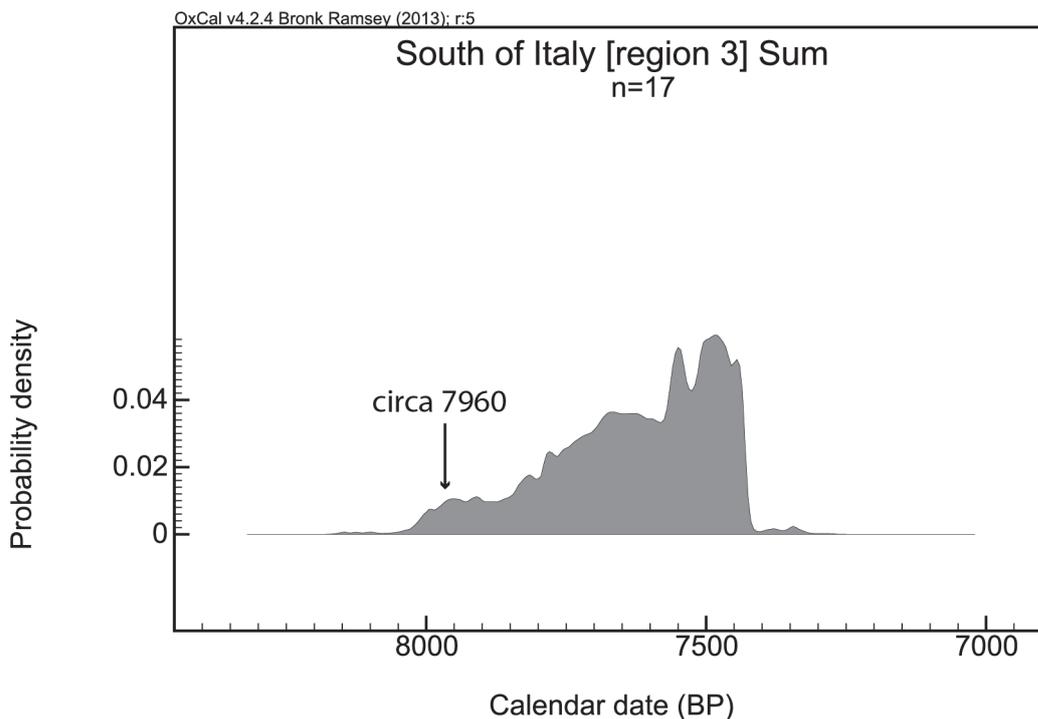


Figure 7.2: SCDPD associated with Southern Italy 2. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

7.1.2.2 The Liguria-Provence arc

This corresponds to the area situated between the Gulf of Genoa and the mouth of the Rhone, which includes the main sites that provided the name for the pottery known as *Ligurian impressa* (Roudil 1990). The date considered to be the start of the earliest appearance of pottery in the region comes from the Arene Candide site, specifically on a sample of cereal from stratigraphic unit 10 characterized by the presence of *sillon d'impressions* pottery (Maggi 2002, 94).

The dates used to create the SCDPD (figure 7.3) are between 6830 and 6330 BP, and after applying the protocol we get 24 radiocarbon dates corresponding to 7 sites. It should be noted that the two $\Delta T > 100$ dates originating from the Arma di Nasino site –R267 and R313a– have been combined to obtain a standard deviation lower than the limit established in the protocol developed in Chapter 2. It can be seen from the SCDPD that the start of pottery has been established at around 7770 cal BP.

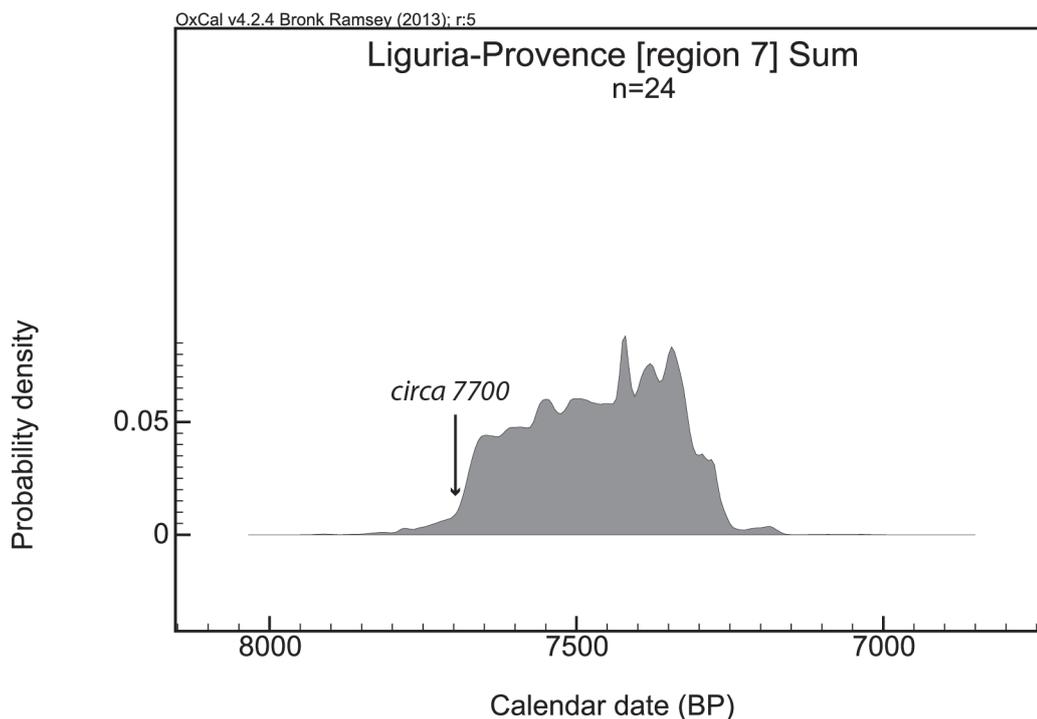


Figure 7.3: SCDPD associated with the Liguria-Provence arc. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

7.1.2.3 The Languedoc

The western part of southern France, from the mouth of the Rhone to the Aude administrative department, is another region that appears to provide much information that can be used now that the papers by Manen (2000a; 2002; 2007) have made it possible to compile cultural data.

As shown in a recent publication, the presence of *impressa* facies in the Languedoc is beyond doubt (Guilaine & Manen 2002). The date selected as the start of pottery is taken from the *impressa* horizon for the Peiro Signado site (Bernabeu, Manen & Pardo Gordó, forthcoming; Manen 2002). The time considered to mark the start of the first appearances of pottery here is interesting because it is some years earlier than the date used for the Liguria-Provence arc. This would support the hypothesis of hybridization between pottery characterized by the *sillon d'impressions* technique and cardial pottery (Manen 2002, 153) suggested for the neighbouring site of Pont de Roque-Haute.

The Languedoc is deficient from a radiometric point of view because most of the radiocarbon dating was carried out decades ago and is therefore often too “old” for the time contexts given by La Grotte du Gazel, for example. Due to the area’s radiometric complexity we have decided to use a number of dates that fall outside the radiocarbon protocol by a greater deviation than that permitted, like in the case of La Grotte Combe Obscure. This site is used because it perfectly represents the cardial culture of the Languedoc (Guilaine & Manen 2002, 44).

With the radiocarbon problem for the region overcome, the dates used for the SCDPD

(figure 7.4) range from 6925 to 6425⁷⁵ BP and once the protocol is applied we have 13 radiocarbon dates corresponding to 6 sites. The two $\Delta T > 100$ dates from the Grotte de Camprafaud site (Gif1491 and Gif3078) have been combined to obtain a lower standard deviation than that established by the protocol. As the SCDPD shows, the start of pottery has been set at around 7840 cal BP.

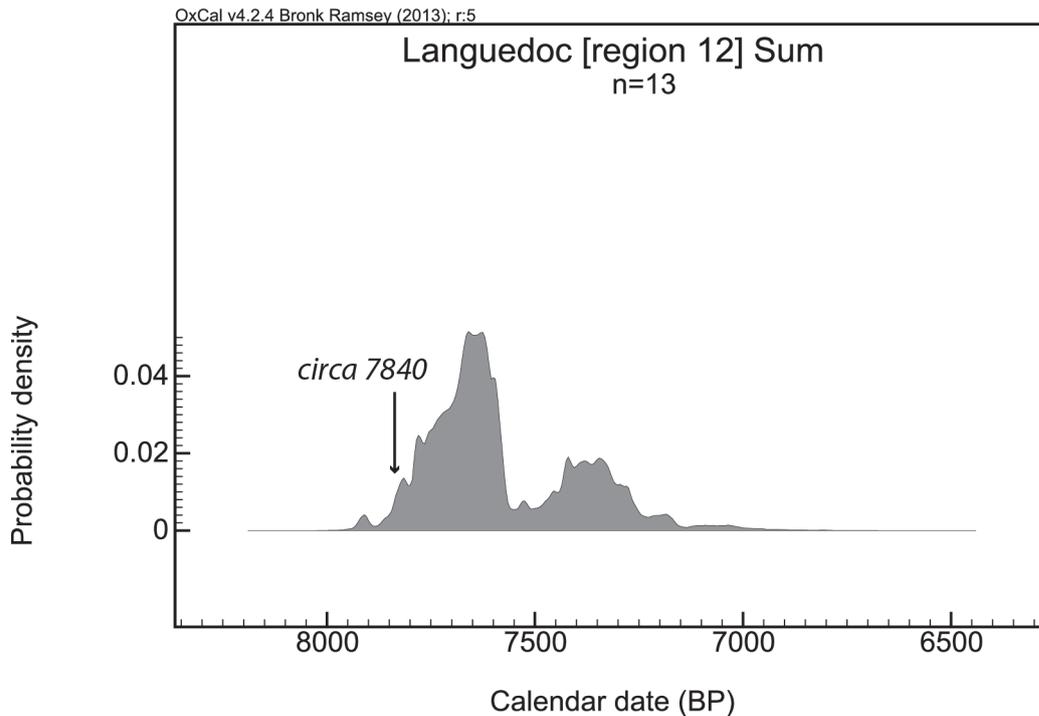


Figure 7.4: SCDPD associated with the Languedoc. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

7.1.2.4 Eastern Iberian Peninsula

Broadly speaking this region corresponds to the territory between the river Jucar and the river Segura, covering the provinces of Albacete, Alicante, Murcia and Valencia.

The radiocarbon date used to denote the start of pottery in the region is from the site at Cova d'en Pardo, carried out on a sample of wild goat from lower level VIII characterized by the presence of 3 pottery urns, only one of which is decorated. This vessel –number 7– presents bracket-like impressions made with an instrument that the excavators associate with an *impres-sa* phase due to the parallels documented at the Arene Candide site (Soler Díaz et al. 2011, 210).

The dates used to create the SCDPD (figure 7.5) fall between 6660 and 6160 BP, and after applying the protocol we obtain 34 radiocarbon dates corresponding to 10 sites. The start of pottery in this region has been established at around 7580 cal BP.

⁷⁵ As mentioned in the text, the 6400±160 Combe Obscure date has been incorporated into the SCDPD.

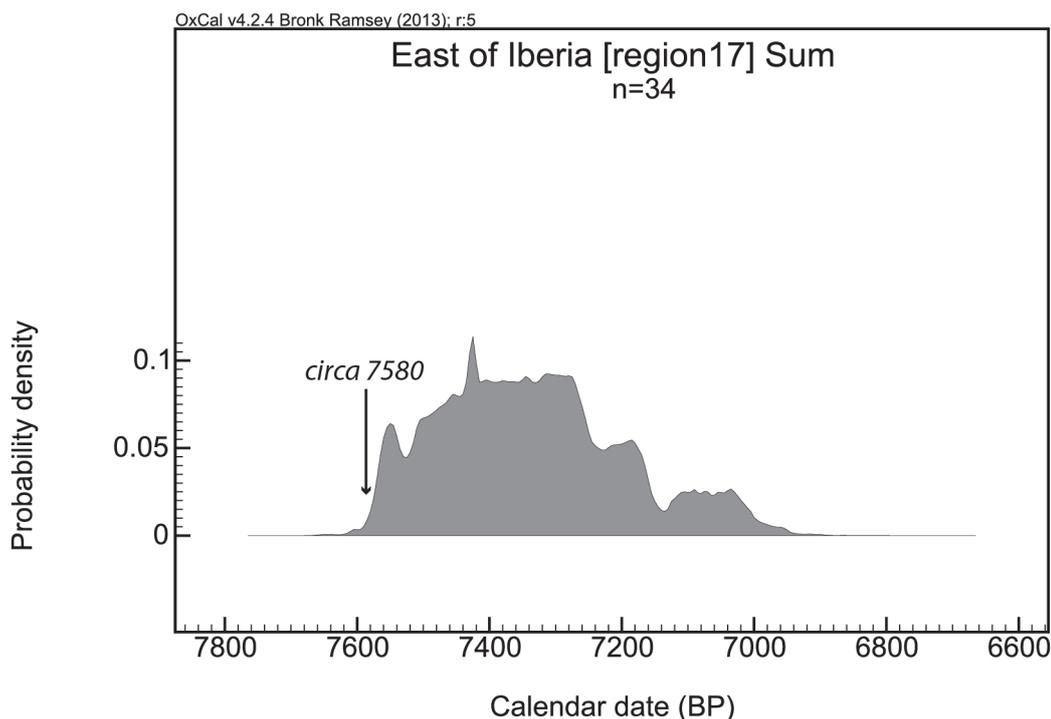


Figure 7.5: SCDPD associated with the Eastern Iberian Peninsula. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

7.1.2.5 North-eastern Iberian Peninsula

This region covers from the Pyrénées-Orientales administrative department down to the left bank of the Ebro. From a hydrographic point of view it includes all the inland Catalan basin plus those basins located between *l'étang de Salses* and the Pyrenees.

The radiocarbon date used to mark the start of pottery in the region is from the Catalan site of Les Guixeres de Vilobí, carried out on a sample of *ovis aries* from the A horizon characterized mainly by the presence of pottery with cardial decoration, although non-cardial impressed pottery has also been documented (Mestres 1981; Manen 2000b; Oms et al. 2014). Although contexts associated with non-cardial impressed pottery have so far lacked importance (Oms et al. 2014, 53), this date certainly points to the possible existence of an *impressa* horizon like those documented in nearby areas such as the Valencia region.

The dates used for the SCDPD are situated between 6655 and 6155 BP, and once the protocol is applied we have 29 radiocarbon dates corresponding to 18 sites. Figure 7.6 shows the SCDPD compiled using radiometric information available for a temporal range defined for the Catalonia area, with the start of the earliest pottery being around 7575 cal BP.

7.1.2.6 South-eastern Iberian Peninsula

This broadly corresponds to the territory lying between the river Segura and the river Guadiaro, taking in the provinces of Almería, Granada and Málaga and, from a hydrographic point of view, covering all the southern or Mediterranean Andalusian basin and the part of the

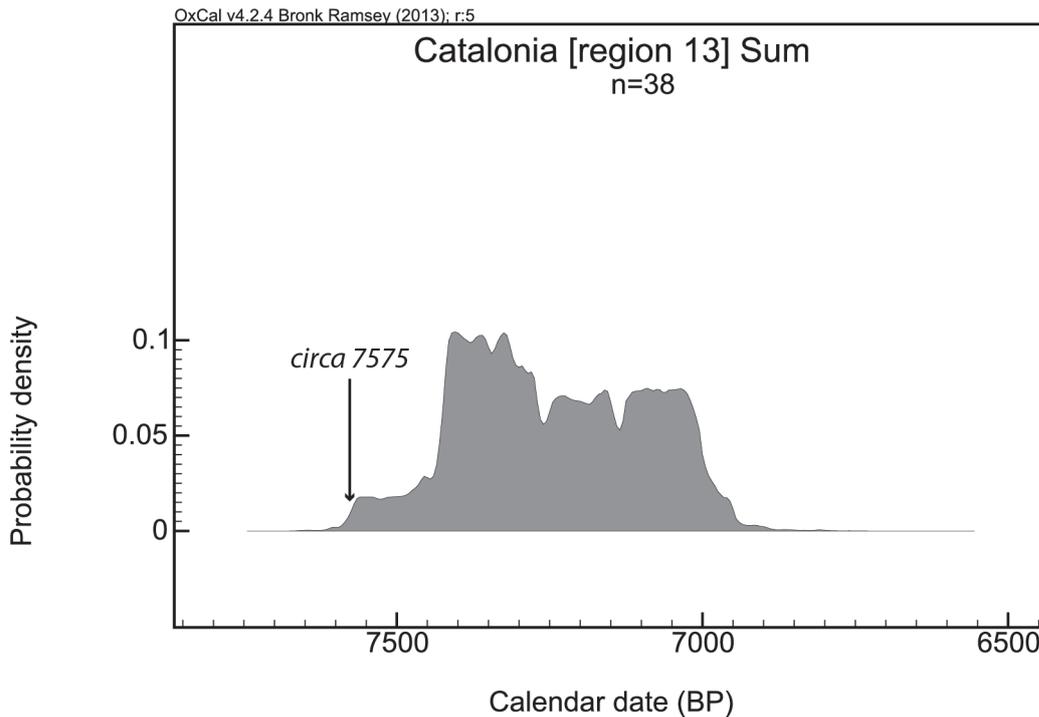


Figure 7.6: SCDPD associated with the North-eastern Iberian Peninsula. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

upper Guadalquivir basin belonging to the Granada area. In other words region 19 corresponds to what would be known administratively as Eastern Andalusia.

The radiocarbon date used for the start of pottery in the region is from the site at Cariguella and was carried out on an ox bone associated with level 16 –CIII corridor N1 [Pellicer excavation]– (Medved 2013, 216 – 217) vessel characterized by an outstanding presence of pottery with cardial *impressa* decoration. There are two older dates on short-life materials associated with pottery remains that have been discounted. Accepting them would cause various problems, like in the case of the cave at Nerja where there are various dates that point to the existence of Mesolithic phases on the site, although these are not well documented (Aura Tortosa et al. 2013, 57 – 58). Returning to the case of Cariguella, the dates –OxA-1131 and Col-1563– could refer to Mesolithic occupations, and in the specific case of Col-1563 there is a problem of identification in that the taxon can only be identified correctly by protein analysis as has been carried out at other sites (Martins et al., forthcoming).

The dates used for the SCDPD (figure 7.7) range between 6749 and 6249 BP, and applying the protocol provides us with 22 radiocarbon dates corresponding to 7 sites. The reserve effect applied on the dating carried out on microfauna from the Cabecicos Negros site was -22 ± 135 , which corresponds with that obtained for the Bay of Malaga (Siani et al. 2002). The start of pottery in this region has been set at around 7620 cal BP.

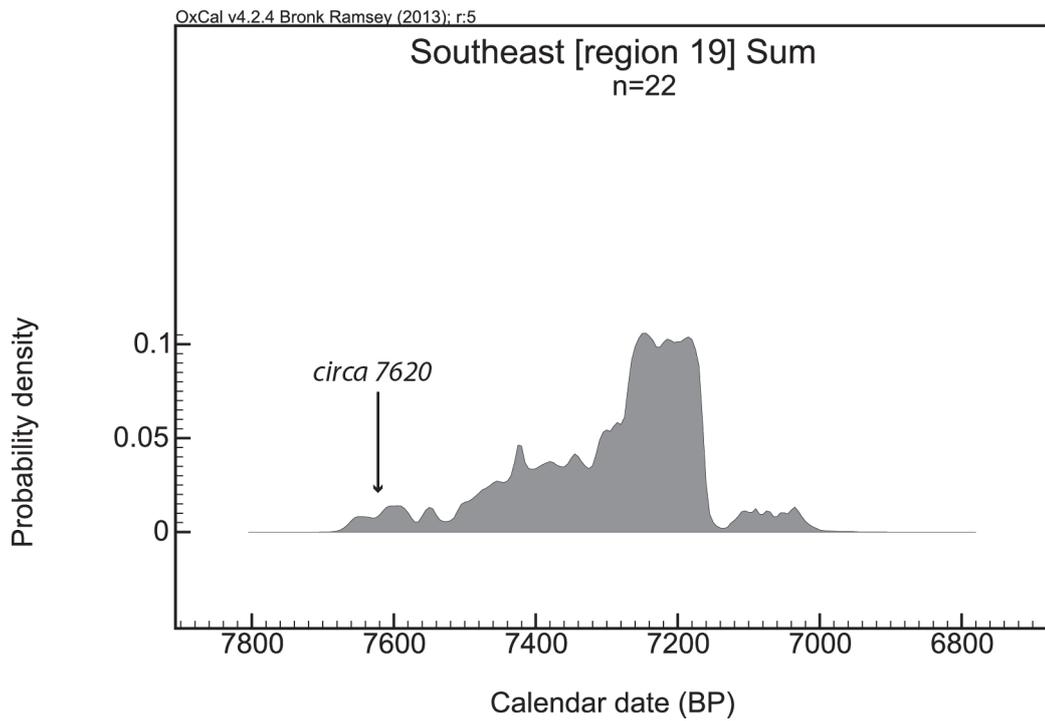


Figure 7.7: SCDPD associated with the South-eastern Iberian Peninsula. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

7.1.2.7 The Algarve

This region covers the southernmost area of mainland Portugal and corresponds administratively to the Faro district. The Padrao site presents the most ancient dates on short-life

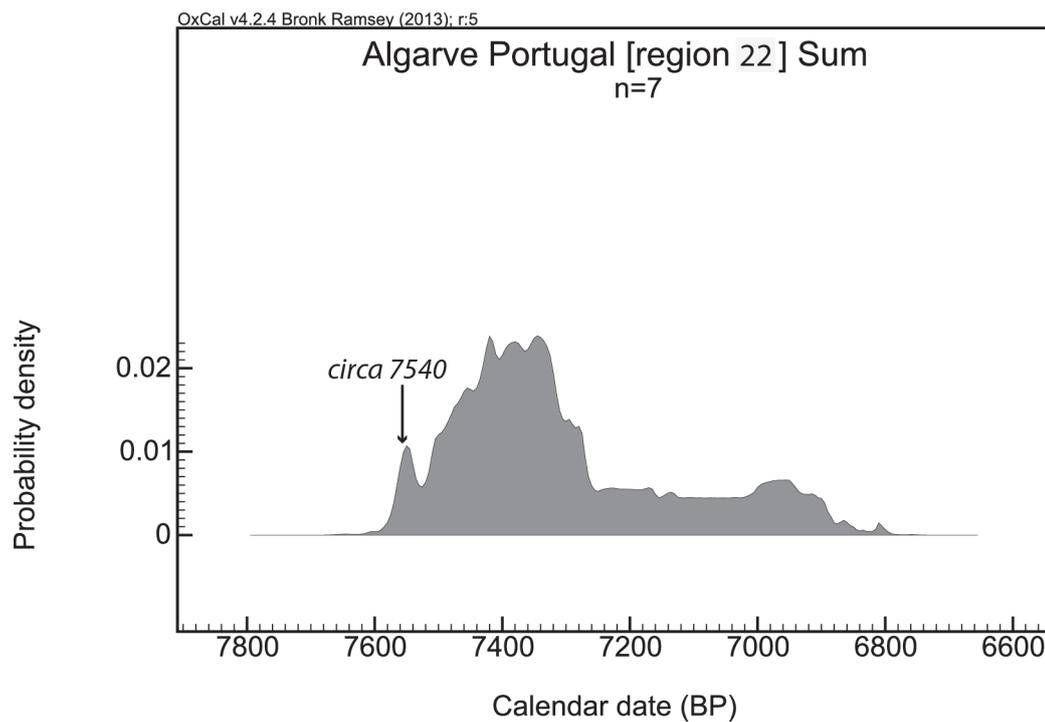


Figure 7.8: SCDPD associated with the Algarve. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

materials associated with pottery remains in the Algarve (Carvalho 2003, 49). The date taken to be the start of the earliest pottery in the region comes from this open-air site, carried out on a sample of malacofauna from a hearth associated with the ancient Neolithic level in which pottery with cardial decoration has been documented.

The dates used for the SCDPD (figure 7.8) are situated between 6570 and 6070 BP, and after applying the protocol we get 7 radiocarbon dates corresponding to 6 sites. The reserve effect used for the dating on malacofauna was 95 ± 15 (Soares & Dias 2006). As can be seen from the SCDPD, the start of pottery has been established at around 7540 cal BP.

7.1.2.8 Tagus Portugal

This is the most westerly area that we will analyse here and broadly speaking corresponds to the lower Tagus basin. The Galería da Cisterna Almonda site (Zilhão 2001) presents the most ancient short-life dates associated with pottery remains in this region. There is a Holocene package in the Almonda-2 sector with a presence of burials and pottery (Zilhão, Maurício & Souto 1991, 162). This has been divided into three cultural stages (Zilhão & Carvalho 2011), but unfortunately we have been unable to associate them with radiocarbon dates, apart from those carried out on the pottery itself (Zilhão 2009, 828). This is due to the fact that the cultural divisions are based on preconceived ideas about what materials should or should not be associated with each phase, thereby in our opinion falling victim to the artificial creation of pottery assemblages, i.e. *cultural pigeonholing*. To put it another way, the pottery material has been attributed on the basis of typological *scrutiny* in a regional context in which no clear archaeo-

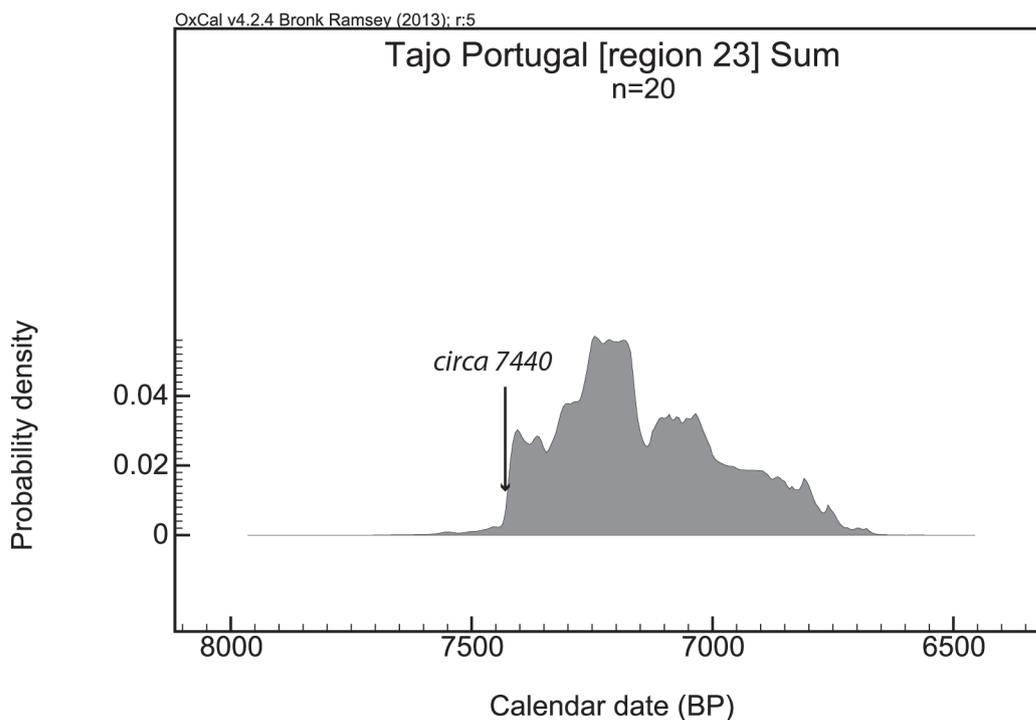


Figure 7.9: SCDPD associated with Tagus Portugal. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

logical sequence of the VII millennium cal BP has been established. We have therefore decided to rule out the use of the pottery in our work because of these problems, although we will still use the radiocarbon date as the start of pottery since the reliability of the radiometric dating is not in question.

The dates used for the SCDPD (figure 7.9) range between 6440 and 5940 BP, and once we apply the protocol we are left with 20 radiocarbon dates corresponding to 9 sites. A date with $\Delta T > 100$ from the Pena d'Agua site (ICEN1146) has been included. Like with the other Portuguese region, the Algarve, the reserve effect used for the dating on malacofauna was 95 ± 15 . Finally, the earliest appearances of pottery for this region are situated around 7440 cal BP.

7.1.2.9 Ebro Valley 1

We now present the first of the three areas associated with the hydrographic basin of the Ebro, the first one being the area covering the upper reaches of the river.

The date selected to denote the start of pottery originates from the lower part of level IV of the Peña Larga site, in which pottery fragments with cardial impressions have been documented (Fernández Eraso 2011, 121). However, another site in the region – Campamento de Mendandia– presents more ancient dates on short-life materials associated with pottery remains. This merits special attention because it has been the subject of debate ever since publication of the first results (Alday 2011b; Zilhão 2011) due to the fact that in its upper and lower level III it presents dates associated with pottery remains situated in the second half of the VIII millennium. We have decided to discount these because they are the most ancient dates from

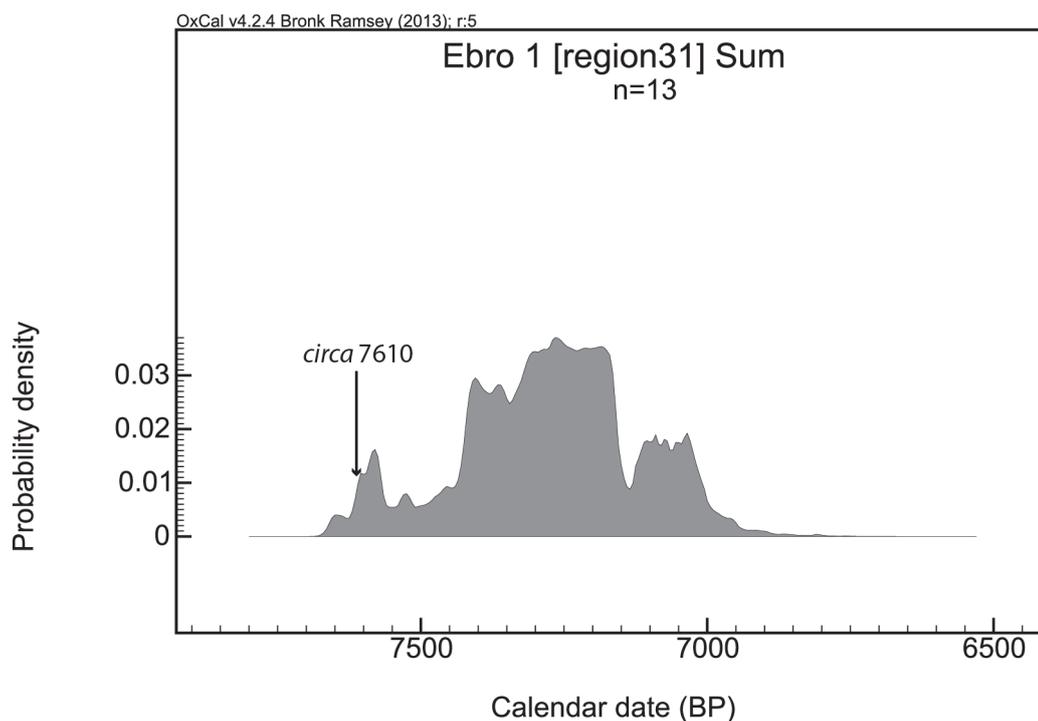


Figure 7.10: SCDPD associated with Ebro Valley 1. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

the western Mediterranean carried out on short-life samples, and accepting an east-west spread means that the dates available for Mendandia III would be incompatible with the Neolithic expansion process.

The dates used for the SCDPD are situated between 6720 and 6220 BP, and once the protocol is applied we have 13 radiocarbon dates corresponding to 8 sites. Figure 7.10 shows the SCDPD based on radiometric information available for the temporal range defined for the upper Ebro basin. The earliest pottery in this region is placed at around 7610 cal BP.

7.1.2.10 Ebro Valley 2

This corresponds to the left bank of the river Ebro excluding the upper basin, which is considered a different region.

The radiocarbon date used as the start of the appearance of pottery in the region is from the Forcas II site, from dating carried out on a wild fauna bone associated with the old levels V-VI characterized by the presence of pottery with cardial *impressa* decoration and two fragments with *sequenza* impressions (Montes 2014, 252). Although this site may present problems associated with the apparent archaeological contexts (Bernabeu 2006), we have decided to include it here because there is no doubt that in levels V-VI there is a non-sporadic presence of pottery material⁷⁶.

The dates used for the SCDPD (figure 7.11) range from 6750 to 6250 BP, and after

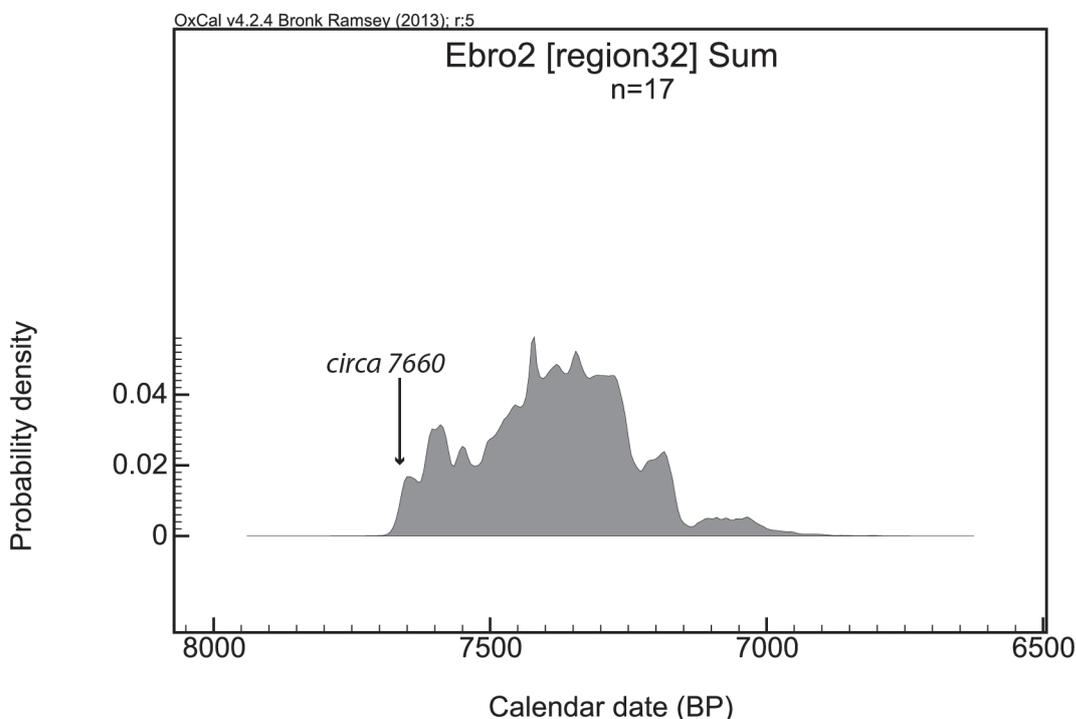


Figure 7.11: SCDPD associated with Ebro Valley 2. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

76 Forcas II has been presented as an example of stage C of the geometric Mesolithic, i.e. the existence of hunter-gatherer peoples with Neolithic elements. On the debate about stage C, see Juan-Cabanilles & Martí (2011).

applying the protocol we end up with 17 radiocarbon dates corresponding to 4 sites. As the sum of probabilities shows, the earliest appearance of pottery in this region is situated around 7660 cal BP.

7.1.2.11 Ebro Valley 3

The third and final region into which the hydrographic basin of the Ebro has been divided corresponds to the right bank of the river. It should be noted that we have decided to consider the sites located in the Ambrona valley (Rojo et al. 2008) as part of this region because they form part of the Ebro basin from a hydrographic point of view. Although this is certainly a decision that is open to debate due to the *meseta-like* character of the sites (Montes 2014, 263), we believe that joining the two areas together –Ambrona and mid/lower Aragon– provides us with a greater amount of suitable cultural information.

The dating selected as the start of the appearance of pottery comes from structure 18 of the La Lámpara site, in which *impresa* pottery associated with the incised/impressed cultural horizon have been documented. Indeed La Lámpara has more ancient dating carried out on short-life material - burnt bone - but this has been discounted because of the problems involved. The same criterion has been applied as regards dating carried out on long-life material that presents a higher radiocarbon average than that we have taken to denote the start of pottery, e.g. the Abrigo de la Dehesa/de Carlos Álvarez site dated to the late VIII millennium –7013±38 BP– (Rojo, Garrido Pena & García-Martínez de Lagrán 2008).

The dates used for the SCDPD are situated between 6407 and 5907 BP, and after we

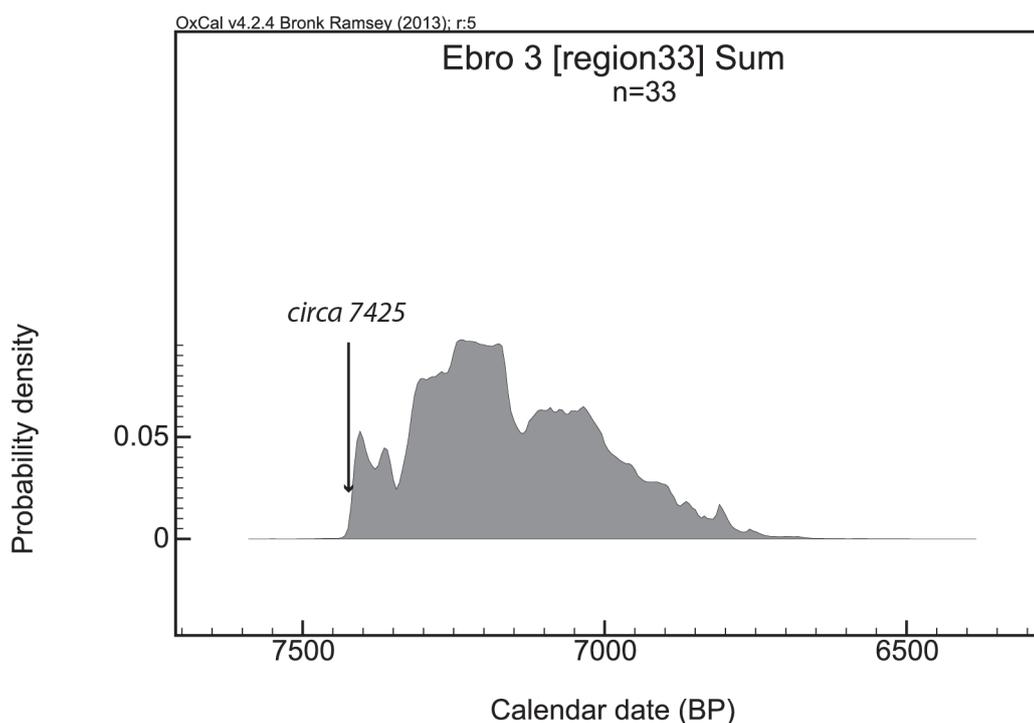


Figure 7.12: SCDPD associated with Ebro Valley 3. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

apply the protocol we have 32 radiocarbon dates corresponding to 6 sites. Figure 7.12 shows the SCDPD based on radiometric information available for the temporal range defined for the right bank of the Ebro. The earliest pottery in this region is situated around 7425 cal BP.

7.1.2.12 Central Peninsula

This region corresponds to the central area of the Iberian Peninsula covering the provinces of Guadalajara, Toledo and the Community of Madrid, and from a hydrographic perspective is associated with the upper Tagus basin.

The date taken to be the start of the first appearance of pottery in the region comes from the open-air site of La Paleta, from dating carried out on a sample of organic material identified as *cerealia sp.* found in pit 219, in which one fragment with cordial decoration and one with figurative decoration have been documented (Jiménez Guijarro 2008; 2010). Although this date may be questioned when compared with other dates from the region, we have decided to use it because there is no doubt as to the presence of pottery material in the context where the radiocarbon date was obtained. Like in the case of the Andalusian region, there is uncertainty as regards the date we have considered as the earliest pottery. This is due not only to the very nature of the date –see above–, but also because there is another date from the same site carried out on domestic fauna that is more recent by about 800 years –6663 cal BP–.

The dates used for the SCDPD (figure 7.13) are situated between 6600 and 6100 BP, and once the protocol is applied we have 20 radiocarbon dates corresponding to 6 sites. It was decided to include a date from the La Paleta site that falls outside the theoretical 500-year fra-

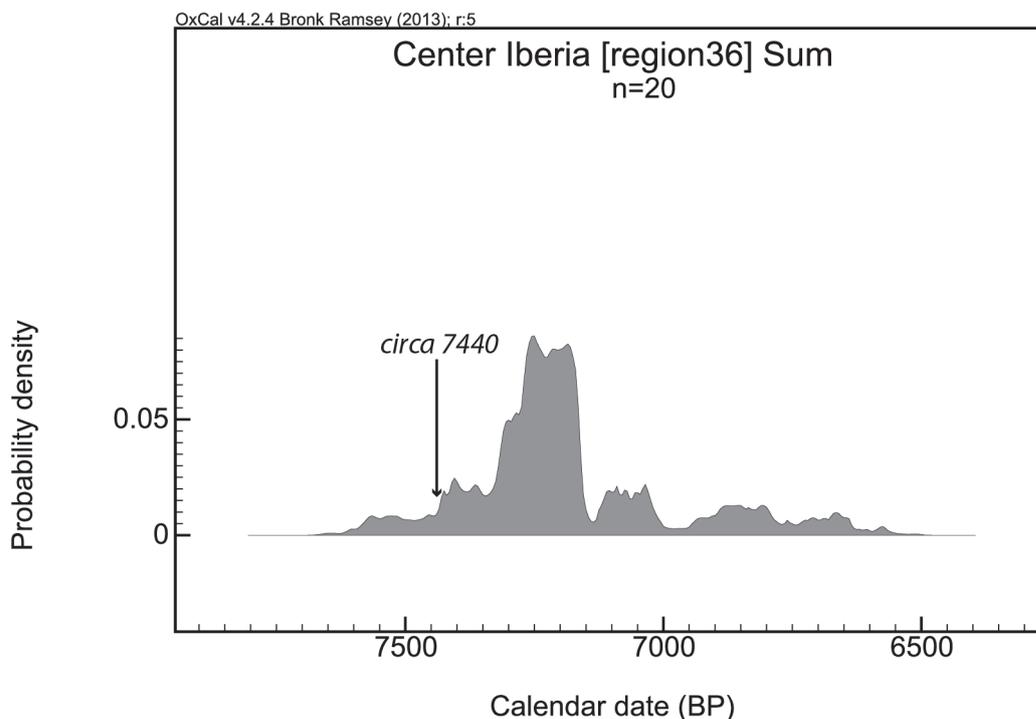


Figure 7.13: SCDPD associated with Central Peninsula. The arrow marks the chronological origin of the earliest appearance of pottery.

mework –Beta223091– so as to provide us with another date for the same site more in line with the radiocarbon *corpus* for the region. As the SCDPD shows, the start of pottery has been set at around 7440 cal BP.

7.2 Pottery decoration as a cultural proxy

Now that we have defined the time windows and regions to be used for comparing with the virtual data, we can focus on selecting the archaeological sites and assigning them to the phases defined in the previous section.

As we saw in the chapter on theory, there is no doubt as to the complexity of the concept of “culture” because it can include so many factors. If we limit our attention to the most obvious variables found in Neolithic contexts, we can use either lithic industry or pottery as an indicator of “Neolithic culture”. As explained in Chapter 2, we decided to use pottery –or pottery decoration to be exact– in our investigation as it is one of the classic markers for the ancient Neolithic. Within this marker, two different aspects of decoration would be equally valid for our purpose: an approximation based on motif or an approximation based on technique. As we noted in the chapter on the empirical record, we opted for technique because, among other aspects, the fragmentation of pottery collections is a handicap when it comes to accurately reading motifs.

In brief, we move from general to specific attributes –see Table 2.1– and consider the tools generally used –notched shells, plain shells, single-edge tools, double or multiple-edge tools, fingers–. In some cases we further categorize the different tools used, e.g. notched shells can be grouped according to which part of the shell is used –edge, back or umbo– and single-edge tools can be grouped according to ‘footprint’ –circular, short-line and others–. This classification is based on previously published work (Manen et al. 2010) but includes a number of recent modifications (Bernabeu, Manen & Pardo Gordó, forthcoming). The paper by Manen et al. makes it clear how difficult it is in some cases to identify tools without direct observation, e.g. different types of notched shells. We therefore decided to start classification according to the appearance of the upper level of the embedded decoration, which is easier to identify from publications. The addition of colour has not been taken into account because of the different criteria used by different researchers at the time of publication.

7.2.1 Sites and chronology

The main problem involved in trying to compare archaeological assemblages from the early Neolithic is deciding which ones can be characterized as the “first stages” of the Neolithic. Obviously the start of the Neolithic will vary from region to region, so first of all we need to accurately locate these pottery appearances in time. As explained earlier, we need to put each of the selected sites/layers into one of the two time windows defined. Once we establish the starting point for the pottery collections for all the geographical regions, we use the same protocol

to associate each site/layer with the correct phase.

The procedure has been carried out following three criteria: a) sites/layers whose radiometric information covers more than 20% of the first 150 years from when pottery started to appear are considered to belong to the *impressa* phase; b) sites that present dates greater than 150 years are assigned to the *late impressa* phase; and c) sites that present radiocarbon information that includes a significant proportion from both phases –at least 20% of the calibration covers the time window– are considered to be from the *impressa* and *late impressa*. These mixed sites indicate a lengthy deposition episode forming a mixed collection from different phases, an aspect we foresaw in Chapter 5 –see 5.1.1.2– and the reason why they have been assigned to both phases.

We have used the case of Ebro Valley 2 to illustrate the procedure for cultural attribution (figure 7.14). We can see that sites are associated with each phase depending on when pottery

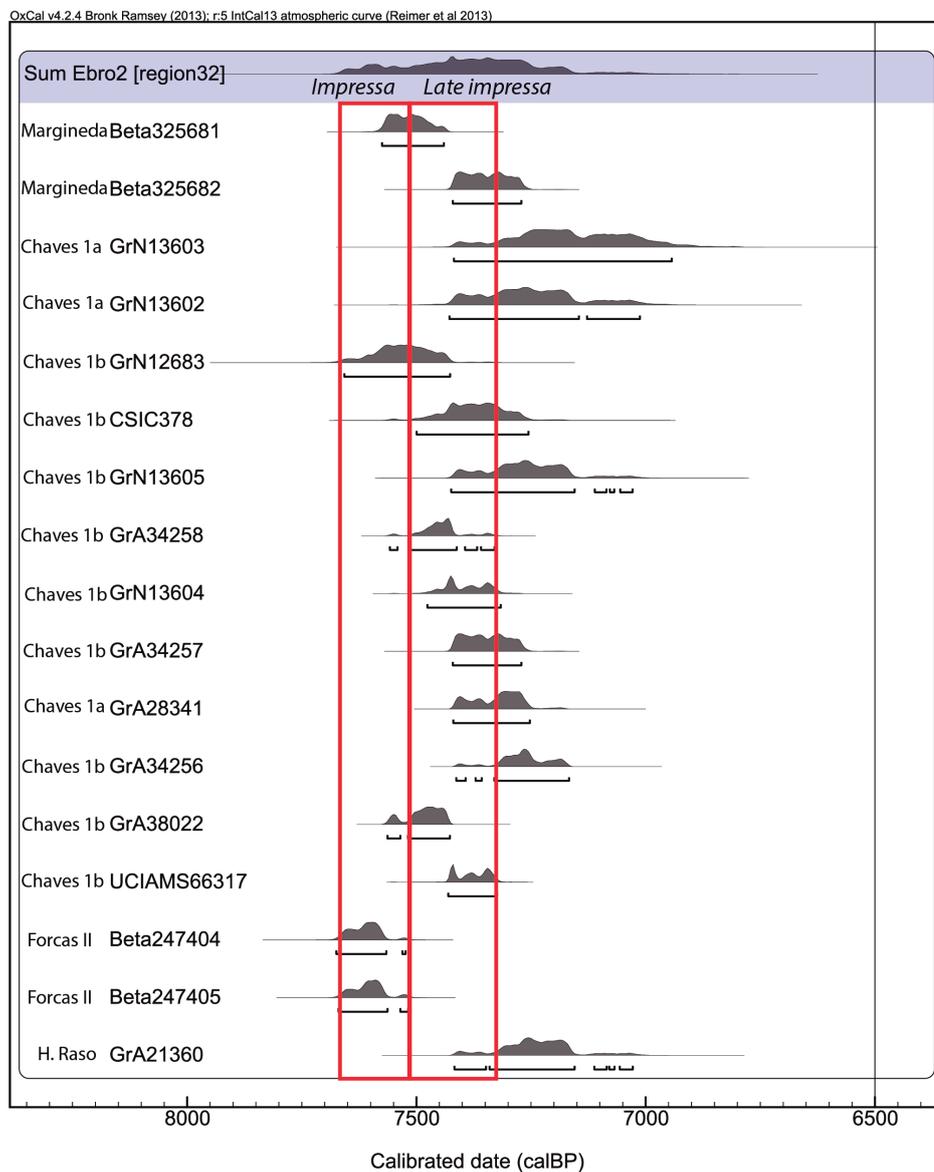


Figure 7.14: Illustration of chronological attribution of archaeological sites.
The case of region 32 [Ebro Valley 2]

first appeared. The rectangles denote blocks of 150 years, and certain sites –Balma Margineda and Chaves Ib– are characterized by presenting dates that cover both phases. These therefore need to be assigned to both *impressa* and *late impressa* phases because at least one dating covers 20% of each time window.

There are some exceptions to the rule described in the protocol. These refer to the use of sites/layers that have no radiocarbon dates or have dates that are incompatible with the context dated. Examples of this can be found in Grotte Camprafrud (Rodríguez 1984), Plano del Pulido (Utrilla Miranda & Martínez Bea 2011), Abrigo de la Dehesa (Martínez de Lagrán 2014) and Guadone (S. Tinè & Bernabo Brea 1980), for instance. These sites have been assigned chronologically on the basis of regional sequences: Italy (Muntoni 2003), France (Manen 2002) and the Iberian Peninsula (Bernabeu, Rojo & Molina 2011). Mention should be made of the La Paleta site, specifically that its date, 6660 BP, once calibrated –7620-7432 to 2 sigmas– does not satisfy the 20% criterion. Nevertheless, we have decided to include it in our analysis because the SCDPD was affected by the use of the more recent date for the same site. This means that the site has more recent dates originating from other pits, so we have decided to include only the pottery associated with this date, silo 219, in the *impressa* phase.

As can be seen in Table 7.1, once the chronology has been sorted out we are left with 2 types of chronological attribution: *A* or *B* and *A+B*. The information is shown by site, region and chronology. We have a total of 46 attributions, counting all possible combinations.

a) **Codes A and B** correspond to sites/layers in which the radiocarbon dates cover at least 20% of the time window for phase A or phase B, but never both. In other words, should it be decided to use an undated site, there is no problem assigning the archaeological material to the phase. There may, however, be sites that present both phases distinctly. An example of this would be the *Caverna delle Arene Candide*. Although this site presents post-depositional alterations as shown by Del Luchese & Starnini (2006, 12), there is no doubt about the existence of different horizons associated with the ancient Neolithic –levels 27-25 of the Bernabó excavations–.

The Arene Candide 1 phase (Binder & Maggi 2001, 417) is characterized by the presence of pottery with *sequenza* at the base and some pieces with vertical cardial impressions. This horizon covers base levels 9b and 10 of the excavation led by Maggi (1997), as well as level 15 of the excavations carried out in the 1970s by Santo Tiné (1999).

The Arene Candide 2 phase (Binder & Maggi 2001, 417) is characterized by the sole presence of cardial pottery. This phase covers levels 8b, 9a and 9b of the Maggi excavation and level 14 of the Tiné excavation.

b) The second cultural attribution –*A+B* or *mixed*– involves sites/layers with radiocarbon dates that cross both phases, *impressa* and *late impressa*. This could mean that the pottery associated with these sites/layers includes fragments from both phases in indistinguishable propor-

tions. With this group we need to differentiate between three types of settlement.

1) Caves or open-air settlements that have radiocarbon-dated levels that cover a very broad time interval, indicating the existence of a lengthy period of occupation. This would be the case of Balma Margineda III, Cabecicos Negros I, Caucade 7-8, Cova de les Cendres H19, Cueva de Chaves Ib, Cueva de la Ventana II *inferior*, Gruta do Caldeirão NII, Guixeres A and Mendandia II.

2) Sites with negative structures, i.e. pits. These are located in the open air and the radiometric information covers both phases. This would be the case of Casa Montero, El Cavet and the sites in the Ambrona valley, La Lámpara and La Revilla del Campo. Here we have decided to use the same cultural sample to characterize both cultural phases. The reason is obvious. Using this type of site implies that if there is no clear correlation between the different pits based on a spatial analysis of the sedimentary fillings (e.g. Flors Ureña & Sanfeliu Lozano 2011), it is difficult to assign them to a definite time. Even if an analysis is carried out, this does not mean there will be no problems involving chronology because sometimes two radiocarbon dates associated with the same structure throw up non-comparable radiometric time, for example on the site at La Lámpara.

3) Sites with no radiocarbon information but which have been included in the investigation so as to provide a more robust cultural sample. This is the case of the Plano del Pulido site, where the recently published radiometric date (Utrilla & Mazo, 2014) is not in line with the material assemblage documented, which has an obvious cardinal connection and led us to believe that it should be assigned to the *impressa* phase. In the end, however, we have decided to be conservative about its chronological attribution and it will therefore form part of both phases.

Finally, as mentioned in the previous chapter, time is a cumulative variable in archaeology. Hence the most recent cultural characterization needs to be seen as the sum of the information available up to that moment. The *late impressa* phase in the case of Arene Candide, for example, would correspond to the accumulation of material from the both the *impressa* and the *late impressa*, i.e. the *late impressa* phase for this particular site will be an accumulation of the information available for levels 15 and 14.

7.2.2 Analysis of the archaeological record

With the chronological attribution completed, we now need to focus on analysing the data. As far as the statistical processing of the archaeological record is concerned, we followed the same protocol as with the virtual data. We first calculated the cultural similarity between all the regions following Brainerd-Robinson so we could then obtain the cultural distance between the data matrices. Next we carried out the Mantel test between cultural value and geographical distance calculated by the Chebyshev method. We decided to work on Σ totals obtained as follows: a) *impressa* phase: those sites attributed to this phase only, and b) *late impressa* phase:

those sites attributed to the *impressa*, *late impressa* or *mixed A+B* phase.

After obtaining the necessary data files, the two remaining measurements needed were calculated to enable us to measure the possible influence of the cultural hitchhiking hypothesis: cultural rank and cultural correlation with southern Italy.

7.2.2.1 Selecting sample size

As the material record is a static, disorganized, fragmentary and cumulative set of objects produced by different actors over long periods of time –as described above–, we have decided to split our empirical record into two data sets:

a) *Impressa group*: This sample includes only those sites/layers that are undoubtedly attributable to our first cultural phase.

b) *Late impressa group*: This sample corresponds to all the information available with the exception of region 22, which does not present accumulated information for its second phase and using it would distort the results. In other words the *late impressa* phase includes those regions that have information for both phases whether or not they are mixed assemblages.

After temporally organizing the data we calculated the three measures associated with the cultural hitchhiking hypothesis, regardless of the size of the pottery sample for each region (table 7.2).

Mantel Test		
Phase	Correlation	P-value
Impressa	-0.148	0.73
Late Impressa	0.245	0.13

BR & Chebyshev correlation		
Phase	Correlation	P-value
Impressa	0.624	0.03
Late Impressa	0.71	0.009

Cultural rank	
Phase	Distance
Impressa	0.6632
Late Impressa	0.8818

Table 7.2: Results of the statistical measurements associated with the cultural hitchhiking hypothesis according to type of sample used.

Surprisingly, the results associated with the *impressa* phase throw up a negative correlation value with no statistical significance in the case of the Mantel test. This makes us wonder if the size of the sample available for each phase has an effect on the results. If the sample for the *late impressa* phase, which consists of an accumulation of the sequence's first 300 years, can be considered acceptable, the same thing does not happen with the *impressa* phase apart from the odd exception. In this case, of the 12 regions for which we compiled information only

Region	Impressa	Late impressa
1	166	214
3	93	185
7	61	167
12	156	231
13	0	221
17	45	329
19	34	140
22	12	0
23	42	55
31	1	41
32	11	66
33	4	90
36	5	72

Table 7.3: Size of the pottery sample available per region for each phase considered. Shaded areas denote samples with a < 10 sample size.

4 have over 50 fragments inventoried (table 7.3), thereby presenting us with a problem of representativity.

In order to assess the effects of using small-sized samples, we have decided to apply a selective strategy to compare the results of the BR&Chebyshev correlation with respect to

Table 7.4A			Table 7.4B		
≥ 10	Impressa		≥ 10	Late impressa	
BR&Cheby	0.637	0.06	BR&Cheby	0.71	0
Rank	0.455		Rank	0.881	
≥ 20	Impressa		≥ 20	Late impressa	
BR&Cheby	0.694	0.08	BR&Cheby	0.71	0
Rank	0.349		Rank	0.881	
≥ 30	Impressa		≥ 20	Late impressa	
BR&Cheby	0.694	0.08	BR&Cheby	0.71	0
Rank	0.349		Rank	0.881	
≥ 40	Impressa		≥ 40	Late impressa	
BR&Cheby	0.657	0.15	BR&Cheby	0.703	0.01
Rank	0.2174		Rank	0.881	
≥ 50	Impressa		≥ 50	Late impressa	
BR&Cheby	0.8475	0.15	BR&Cheby	0.703	0.01
Rank	0.2174		Rank	0.881	
≥ 60	Impressa		≥ 60	Late impressa	
BR&Cheby	0.8475	0.15	BR&Cheby	0.908	0
Rank	0.2174		Rank	0.881	
≥ 70	Impressa		≥ 70	Late impressa	
BR&Cheby	0.883	0.31	BR&Cheby	0.929	0
Rank	0.214		Rank	0.536	
≥ 90	Impressa		≥ 70	Late impressa	
BR&Cheby	0.883	0.31	BR&Cheby	0.929	0
Rank	0.214		Rank	0.536	
≥ 100	Impressa		≥ 100	Late impressa	
BR&Cheby			BR&Cheby	0.929	0
Rank			Rank	0.536	

Table 7.4: A) Results of the BR&Chebyshev correlation and cultural rank associated with the *impressa* phase according to sample size used. B) The same data but for the *late impressa* phase.

southern Italy and cultural rank. In this regard we will gradually increase the minimum sample threshold to include each region.

Looking at the results (tables 7.4a and 7.4b) we see that the most common effect associated with using very small samples is that the results for statistical reliability are weaker, which can clearly be observed by comparing the p-value of the same sample size in both phases.

The following graph (figure 7.15) also suggests that the results of statistical measurements change notably when a certain value of n —the minimum number in the sample—is exceeded, even with statistically reliable results. For the *impressa* phase this should be around 40/50, while for the *late impressa* the variation is found at a minimum size of 50 remains.

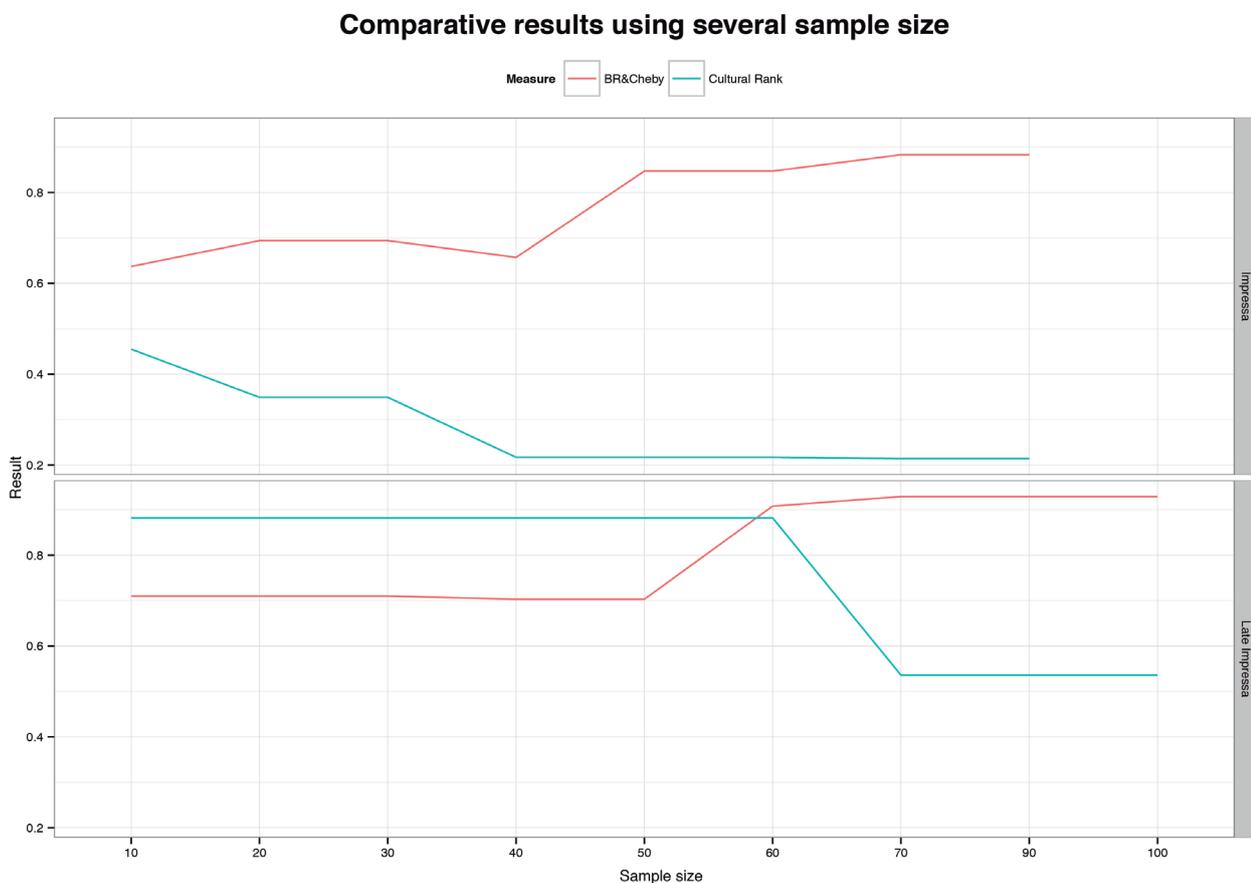


Figure 7.15: Comparison between the BR&Chebyshev correlation and cultural rank according to sample size used.
Top graph shows *impressa* phase, bottom graph shows *late impressa*.

On the basis of these results, we have decided to use a different sample size depending on the chronological phase. With the *impressa* phase, using samples ≥ 40 would considerably limit the number of regions available for analysis and this would certainly affect the representativity of the analysis as a whole. We have therefore decided to use a size threshold of ≥ 20 , 7 regions in total. The results should nevertheless be treated with caution. Finally, for the *late impressa* phase we will use a minimum size of 50, 11 regions in total.

7.2.2.2 *Selecting significant regions*

Once the data set and sample size had been dealt with, it was decided that a complementary analysis would be carried out. This would be a permutation analysis of the regions available for the *impressa* and *late impressa* phases which will enable us to evaluate different scenarios. The procedure is simple. We discount one region at a time and evaluate the results of the different statistical calculations. If discounting a region increases statistical significance –as measured by the Mantel test and BR&Chebyshev– that region will be discounted from subsequent analyses. If the reverse happens, the region will be included. As regards the results of the permutation analysis for the *impressa* phase (table 7.5), we see that the measurements associated with the

Sample	Mantel	P-value	BR&Cheby	pvalue	Cultural Rank
All regions	0.3171	0.09	0.694	0.08	0.349
- Italy 2	0.1032	0.36	-0.736	0.09	0.349
- Ligurian	0.3207	0.12	0.69	0.12	0.346
- Languedoc	0.4652	0.06	0.715	0.11	0.349
- East Iberia	0.1834	0.25	0.673	0.14	0.349
- Southeast Ib.	0.3573	0.1	0.657	0.15	0.217
- Tagus Portugal	0.5842	0.03	0.899	0.01	0.349

Table 7.5: Results of the statistical measurements associated with cultural hitchhiking for the *impressa* phase after the complementary permutation analysis. Shaded areas show the best results.

Mantel test and BR&Chebyshev vary depending on the regions analysed, although only in the case in which “Tagus Portugal” is discounted do the correlations supply a p-value ≤ 0.05 . So how should we interpret these results? The answer should no doubt be connected with the doubts surrounding the collections used for characterizing that we describe next.

Region 23, “Tagus Portugal”, is characterized by materials from Senhora da Alegria (Valera 2013) and Abrigo da Pena d’Agua, level EbBase (Carvalho 2008). Both sites have been dated using samples done with carbon, which could lead us to consider a fictitious ageing of the sample used. Meanwhile the EbBase level of the Pena d’Agua site should be associated with the first half of the VII millennium cal BP according to its excavator (Carvalho 2008, 61). The nature of the sample dated and the fact that it presents a high standard deviation of 150 implies that the materials should probably not be associated with our first chronological phase. As for the Senhora da Alegria site, the information published so far is very scant, just a brief reference to its radiocarbon dating (Valera 2013) and a description of the site⁷⁷, and so this pottery collection should be treated with caution. In conclusion, for the comparison of the real results with the virtual results we will use those obtained when the ‘Tagus Portugal’ region is discounted.

After discounting this region, we decided to carry out a second series of permutations to

77 <http://portugueseenclosures.blogspot.com.es/search/label/Senhora%20da%20Alegria>[accessed 04/04/2015]

again discount the “Tagus Portugal” region. The results of this second series (table 7.6) indicate that in most cases they have statistical significance, although there is a case where the reliability of the statistical test is null. This concerns the results of the Mantel test when “Southern Italy 2” is discounted, a behaviour that is also observed in the first series of permutations.

Sample	Mantel	P-value	BR&Cheby	pvalue	Cultural Rank
All regions	0.5842	0.03	0.899	0.01	0.349
- Italy 2	0.4149	0.162	0.972	0.005	0.349
- Ligurian	0.6171	0.06	0.905	0.03	0.346
- Languedoc	0.7665	0.04	0.9	0.03	0.349
- East Iberia	0.5531	0.01	0.911	0.03	0.349
- Southeast Ib.	0.6192	0.06	0.857	0.06	0.217

Table 7.6: Results of the statistical measurements associated with cultural hitchhiking for the *impressa* phase after the second complementary permutation analysis.

As regards the results of the permutation analysis for the *late impressa* phase (table 7.7), as with the previous phase the measurements associated with the Mantel test and BR&Chebyshev vary depending on the regions used, although they tend to have similar values –around $R = 0.2$ – and only in the case where the “Tagus Portugal” and “Central Peninsula” regions are discounted is there statistical reliability in the results.

Sample	Mantel	P-value	BR&Cheby	pvalue	Cultural Rank
All regions	0.231	0.161	0.703	0.01	0.881
- Italy 2	0.195	0.16	0.649	0.04	0.733
- Ligurian	0.239	0.17	0.693	0.02	0.881
- Languedoc	0.291	0.118	0.703	0.02	0.881
- Catalonia	0.212	0.173	0.718	0.01	0.881
- East Iberia	0.202	0.204	0.693	0.02	0.881
- Southeast Ib.	0.197	0.202	0.708	0.02	0.881
- Tagus Portugal	0.443	0.03	0.908	0	0.881
- Ebro Valley 2	0.181	0.212	0.7	0.02	0.881
- Ebro Valley 3	0.199	0.217	0.695	0.02	0.881
- Center Iberia	0.296	0.04	0.711	0.02	0.536

Table 7.7: Results of the statistical measurements associated with cultural hitchhiking for the *late impressa* phase after the complementary permutation analysis. Shaded areas show the best results. the *impressa* phase after the complementary permutation analysis. Shaded areas show the best results.

As in the previous case, it was decided to carry out a second series of permutations eliminating “Tagus Portugal” and “Central Peninsula”, thereby confirming that the final results are statistically reliable (table 7.8).

By carrying out this permutation analysis we have obtained two types of sample that include a different number of regions. This means that the two samples represent two different measurements that reflect different time and space.

With the different permutation analyses completed, we now have the two samples that will be used for comparison with the virtual results. These are the ‘all regions’ sample in Tables

Sample	Mantel	P-value	BR&Cheby	pvalue	Cultural Rank
All regions	0.5605	0.001	0.931	0.0002	0.546
- Italy 2	0.5352	0.009	0.928	0.0008	0.338
- Ligurian	0.5956	0.005	0.933	0.0007	0.536
- Languedoc	0.7108	0.003	0.938	0.0005	0.536
- Catalonia	0.5766	0.004	0.958	0.0001	0.528
- East Iberia	0.5259	0.003	0.925	0.0009	0.236
- Southeast Ib.	0.5522	0.001	0.956	0.0002	0.236
- Ebro Valley 2	0.5191	0.008	0.929	0.0008	0.236
- Ebro Valley 3	0.5928	0.002	0.925	0.0009	0.236

Table 7.8: Results of the statistical measurements associated with cultural hitchhiking for the *late impressa* phase after the second complementary permutation analysis.

7.6 and 7.8. Table 7.9 shows the results of the archaeological samples along with confidence intervals calculated at 95% confidence for one tail. These intervals provide us with a range of values which includes the value of the statistical test used (Candia & Caiozzi 2005).

Sample	Mantel 95% (low)	BR/Cheby 95% (low)	Rank 95% (upper)
<i>Impressa</i>	0.512	0.558	0.481
<i>Late Impressa</i>	0.298	0.786	0.683

Table 7.9: Confidence intervals calculated at 95% confidence for one tail as regards the three samples to be used for comparing with the virtual record.

7.3 Unifying the information: comparing the archaeological results and the virtual results

Whereas in the previous section the aim was to whittle down the archaeological samples to the statistically significant ones, in this section the focus is on comparing the archaeological record and the virtual record. But first we need to assess whether we can use the virtual regions as a whole or whether we have to restrict ourselves to the same regions that we will use in the archaeological samples.

To illustrate the problem we have compared Mantel test behaviour in one case after the other in the scenarios associated with the leapfrog-30 expansion process (figure 7.16) using the best available sample, i.e. 9 regions.

It can be seen that in all but a few cases the trend of the curves for the selected sample and all regions together is not the same, and we will therefore use the results for the “selected” sample. Thus we have 4 samples, two archaeological and two virtual, to use in a two-by-two comparison (table 7.10).

Sample	Phase	Time	Regions used
A1 Archaeological	<i>Impressa Impressa</i>	< 150 years	6 regions
V1 Virtual		40 ticks leap / 120 wave	
A2 Archaeological	<i>Late impressa</i>	< 300 years	9 regions
V2 Virtual		80 ticks leap / 240 wave	

Table 7.10: Samples used for comparing the virtual results with the real results.

Comparative between virtual regions (results based on leapfrog 30)

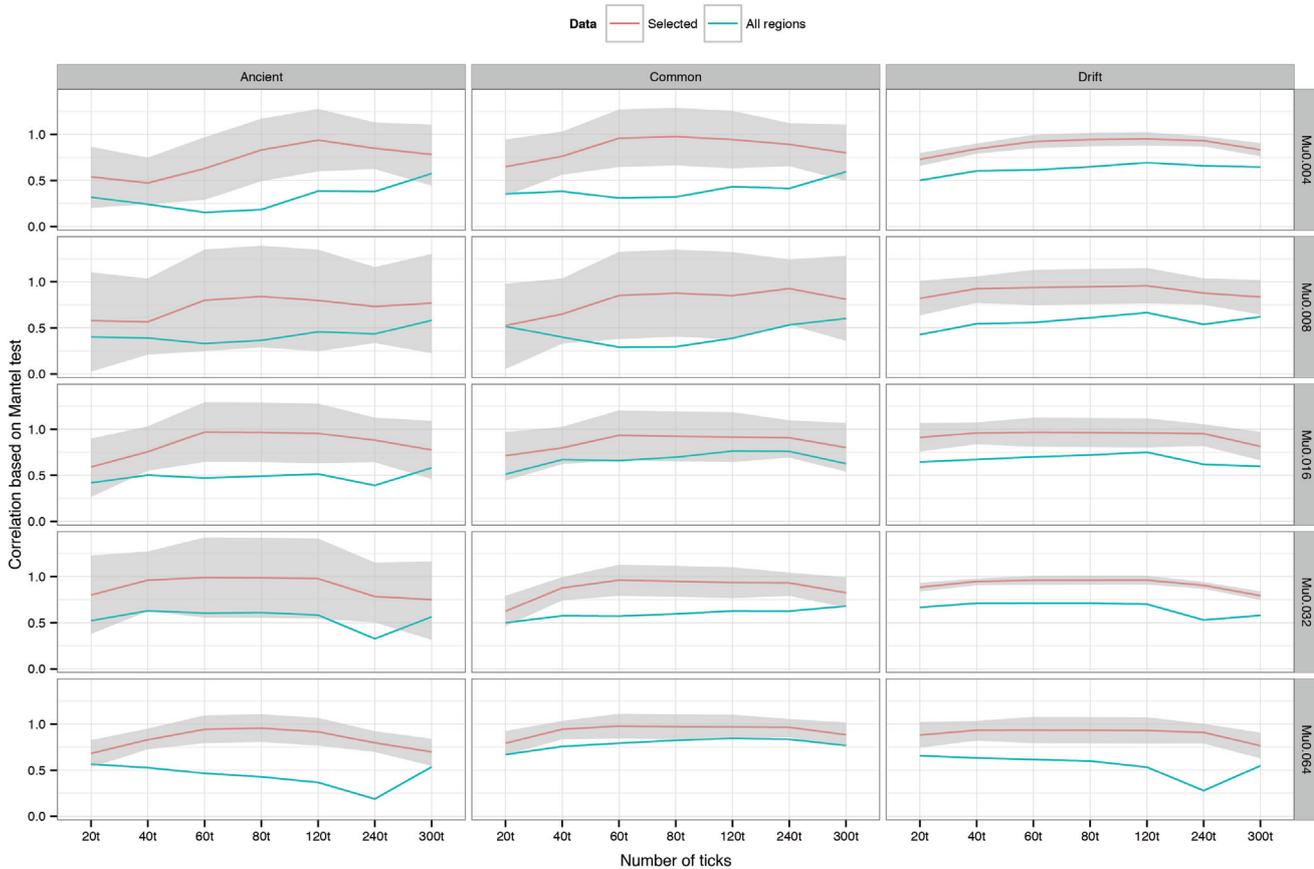


Figure 7.16: Comparison of Mantel test results using all the virtual regions (blue) and only selected regions (red). Shaded areas denote standard deviation of the red line.

Both samples represent different moments in time and cover different geographical spaces. The comparison will be carried out using pairs of samples from the same time segments: V1 v. A1 and V2 v. A2.

7.3.1 Selection and comparison protocol

Now that we know which samples to use, we can describe the protocol we will follow for selecting the virtual scenarios and comparing them with the real samples (figure 7.17). It should be remembered that the final aim of this process is to find out which scenarios are compatible with the cultural hitchhiking hypothesis. The process for selecting and comparing is as follows:

First we calculate the Mantel test, the BR/Chebyshev correlation and the cultural rank for each scenario of each virtual sample. The comparison between the archaeological samples and the virtual scenarios will be carried out using the confidence intervals for BR/Chebyshev and cultural rank with a 95% limit, while for the Mantel test we will use quantiles, also at 95%. Those scenarios with a statistical significance greater than 0.05 in the Mantel test or the BR/Chebyshev correlation will be excluded. Similarly, those scenarios for which at least one of the three measurements falls outside the confidence interval will also be excluded.

The next step is to calculate the cultural distance correlation (CDC). This index is the Pearson correlation, based on values for cultural distance obtained using the Brainerd-Robinson

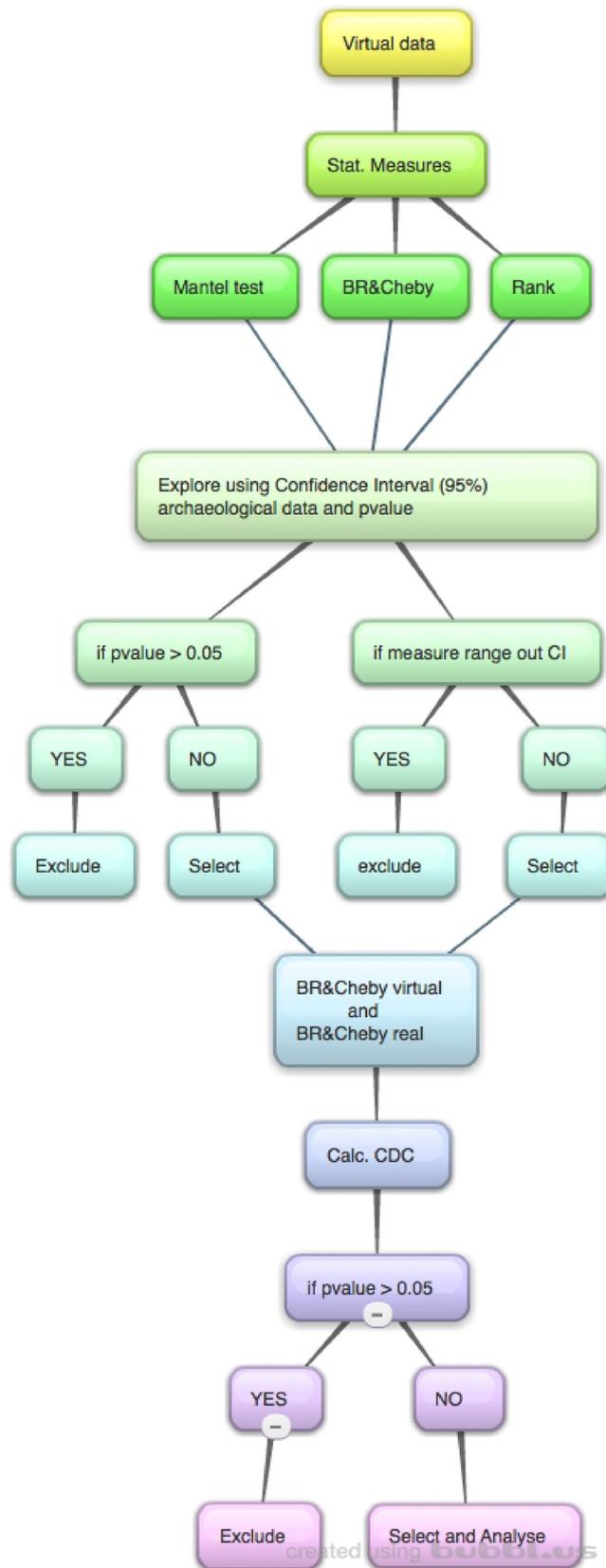


Figure 7.17: Conceptual map of the selection and comparison protocol.

coefficient, for each region in each virtual scenario with the corresponding archaeological sample. It is therefore in itself a comparison between the real world and the virtual world. As in the previous step, scenarios with a p-value > 0.05 are excluded.

As a result of applying this criterion, the virtual scenarios divide into two groups (table 7.11) –those that are not comparable to the archaeological samples and those that are– which will be analysed separately in the following sections. To do this we believe it would be best to calculate the coefficient of determination of the CDC, which will be very useful as it tells us the total variance in each comparison.

A) Sample	Impressa	Mantel	p.value	BR&Cheby	p.value	Rank	CDC	pvalue	B) Sample	late impressa	Mantel	p.value	BR&Cheby	p.value	Rank	CDC	pvalue
Leap 25 Anci	m0.004	0.429	0.011	0.608	0.201	0.022	0.830	0.041	Leap 25 Anci	m0.004	0.770	0.000	0.760	0.017	0.075	0.746	0.021
Leap 25 Anci	m0.008	0.479	0.022	0.640	0.171	0.021	0.832	0.040	Leap 25 Anci	m0.008	0.846	0.001	0.899	0.001	0.113	0.914	0.001
Leap 25 Anci	m0.016	0.867	0.002	0.812	0.050	0.052	0.936	0.006	Leap 25 Anci	m0.016	0.909	0.000	0.963	0.000	0.119	0.938	0.000
Leap 25 Anci	m0.032	0.820	0.003	0.857	0.029	0.094	0.935	0.006	Leap 25 Anci	m0.032	0.951	0.000	0.971	0.000	0.163	0.949	0.000
Leap 25 Anci	m0.064	0.674	0.002	0.851	0.032	0.156	0.947	0.004	Leap 25 Anci	m0.064	0.872	0.000	0.920	0.000	0.182	0.938	0.000
Leap 25 Common	m0.004	0.425	0.038	0.643	0.168	0.036	0.809	0.051	Leap 25 Common	m0.004	0.715	0.001	0.731	0.025	0.041	0.662	0.052
Leap 25 Common	m0.008	0.500	0.001	0.645	0.166	0.018	0.844	0.035	Leap 25 Common	m0.008	0.803	0.000	0.805	0.009	0.172	0.794	0.011
Leap 25 Common	m0.016	0.883	0.001	0.857	0.029	0.093	0.948	0.004	Leap 25 Common	m0.016	0.976	0.000	0.970	0.000	0.285	0.948	0.000
Leap 25 Common	m0.032	0.940	0.002	0.940	0.005	0.185	0.975	0.001	Leap 25 Common	m0.032	0.957	0.000	0.999	0.000	0.357	0.930	0.000
Leap 25 Common	m0.064	0.940	0.004	0.938	0.006	0.262	0.904	0.013	Leap 25 Common	m0.064	0.963	0.000	0.972	0.000	0.182	0.948	0.000
Leap 25 Drift	m0.004	0.772	0.001	0.862	0.027	0.107	0.944	0.005	Leap 25 Drift	m0.004	0.970	0.000	0.982	0.000	0.141	0.951	0.000
Leap 25 Drift	m0.008	0.777	0.001	0.885	0.019	0.137	0.955	0.003	Leap 25 Drift	m0.008	0.950	0.000	0.990	0.000	0.184	0.958	0.000
Leap 25 Drift	m0.016	0.889	0.002	0.906	0.013	0.167	0.970	0.001	Leap 25 Drift	m0.016	0.969	0.000	0.985	0.000	0.234	0.947	0.000
Leap 25 Drift	m0.032	0.919	0.002	0.897	0.015	0.116	0.969	0.001	Leap 25 Drift	m0.032	0.958	0.000	0.989	0.000	0.176	0.953	0.000
Leap 25 Drift	m0.064	0.877	0.001	0.891	0.017	0.134	0.913	0.011	Leap 25 Drift	m0.064	0.939	0.000	0.939	0.000	0.114	0.881	0.002
Leap 30 Anci	m0.004	0.473	0.007	0.661	0.153	0.023	0.938	0.028	Leap 30 Anci	m0.004	0.879	0.000	0.852	0.004	0.029	0.829	0.006
Leap 30 Anci	m0.008	0.566	0.003	0.692	0.128	0.022	0.857	0.029	Leap 30 Anci	m0.008	0.893	0.000	0.953	0.000	0.060	0.941	0.000
Leap 30 Anci	m0.016	0.755	0.002	0.815	0.048	0.073	0.906	0.013	Leap 30 Anci	m0.016	0.968	0.000	0.975	0.000	0.115	0.934	0.000
Leap 30 Anci	m0.032	0.961	0.002	0.944	0.005	0.152	0.966	0.002	Leap 30 Anci	m0.032	0.978	0.000	0.986	0.000	0.181	0.930	0.000
Leap 30 Anci	m0.064	0.829	0.001	0.903	0.014	0.132	0.971	0.001	Leap 30 Anci	m0.064	0.965	0.000	0.973	0.000	0.126	0.930	0.000
Leap 30 Common	m0.004	0.763	0.001	0.835	0.039	0.059	0.938	0.006	Leap 30 Common	m0.004	0.959	0.000	0.975	0.000	0.085	0.932	0.000
Leap 30 Common	m0.008	0.649	0.003	0.706	0.117	0.064	0.911	0.012	Leap 30 Common	m0.008	0.916	0.000	0.919	0.000	0.060	0.929	0.000
Leap 30 Common	m0.016	0.797	0.001	0.802	0.055	0.065	0.928	0.008	Leap 30 Common	m0.016	0.928	0.000	0.983	0.000	0.131	0.958	0.000
Leap 30 Common	m0.032	0.877	0.003	0.869	0.025	0.111	0.940	0.005	Leap 30 Common	m0.032	0.942	0.000	0.955	0.000	0.216	0.969	0.000
Leap 30 Common	m0.064	0.944	0.002	0.946	0.004	0.239	0.965	0.002	Leap 30 Common	m0.064	0.981	0.000	0.992	0.000	0.366	0.955	0.000
Leap 30 Drift	m0.004	0.739	0.001	0.826	0.043	0.079	0.939	0.006	Leap 30 Drift	m0.004	0.941	0.000	0.978	0.000	0.129	0.936	0.000
Leap 30 Drift	m0.008	0.856	0.002	0.867	0.025	0.082	0.950	0.004	Leap 30 Drift	m0.008	0.924	0.000	0.983	0.000	0.141	0.935	0.000
Leap 30 Drift	m0.016	0.960	0.002	0.932	0.007	0.163	0.959	0.002	Leap 30 Drift	m0.016	0.989	0.000	0.991	0.000	0.244	0.939	0.000
Leap 30 Drift	m0.032	0.950	0.002	0.953	0.003	0.201	0.968	0.001	Leap 30 Drift	m0.032	0.991	0.000	0.999	0.000	0.229	0.946	0.000
Leap 30 Drift	m0.064	0.973	0.001	0.974	0.001	0.211	0.938	0.006	Leap 30 Drift	m0.064	0.986	0.000	0.985	0.000	0.176	0.936	0.000
Wave Anci	m0.064	0.494	0.015	0.706	0.117	0.014	0.877	0.022	Wave Anci	m0.064	0.462	0.005	0.830	0.006	0.018	0.909	0.001
Wave Anci	m0.004	0.819	0.003	0.913	0.011	0.171	0.952	0.003	Wave Anci	m0.004	0.954	0.000	0.979	0.000	0.194	0.921	0.000
Wave Anci	m0.008	0.858	0.001	0.958	0.003	0.158	0.905	0.013	Wave Anci	m0.008	0.976	0.000	0.976	0.000	0.176	0.840	0.005
Wave Anci	m0.016	0.860	0.006	0.931	0.007	0.148	0.889	0.018	Wave Anci	m0.016	0.883	0.000	0.883	0.002	0.079	0.772	0.015
Wave Anci	m0.032	0.700	0.005	0.826	0.043	0.038	0.801	0.055	Wave Anci	m0.032	0.642	0.007	0.808	0.008	0.032	0.838	0.005
Wave Common	m0.004	0.971	0.001	0.987	0.000	0.716	0.892	0.017	Wave Common	m0.004	0.979	0.000	0.983	0.000	0.714	0.909	0.001
Wave Common	m0.008	0.978	0.001	0.988	0.000	0.825	0.900	0.015	Wave Common	m0.008	0.987	0.000	0.989	0.000	0.820	0.921	0.000
Wave Common	m0.016	0.942	0.002	0.967	0.002	0.981	0.873	0.023	Wave Common	m0.016	0.973	0.000	0.972	0.000	0.982	0.840	0.005
Wave Common	m0.032	0.996	0.002	0.991	0.000	0.805	0.928	0.007	Wave Common	m0.032	0.991	0.000	0.993	0.000	0.805	0.772	0.015
Wave Common	m0.064	0.948	0.001	0.969	0.001	0.972	0.914	0.011	Wave Common	m0.064	0.973	0.000	0.982	0.000	1.020	0.838	0.005
Wave Drift	m0.004	0.870	0.015	0.989	0.000	0.399	0.916	0.010	Wave Drift	m0.004	0.888	0.000	0.980	0.000	0.202	0.952	0.000
Wave Drift	m0.008	0.798	0.012	0.990	0.000	0.305	0.913	0.011	Wave Drift	m0.008	0.655	0.005	0.955	0.000	0.044	0.886	0.001
Wave Drift	m0.016	0.345	0.072	0.868	0.025	0.089	0.863	0.027	Wave Drift	m0.016	0.210	0.161	0.812	0.008	0.025	0.869	0.002
Wave Drift	m0.032	0.539	0.023	0.791	0.061	0.032	0.904	0.013	Wave Drift	m0.032	0.517	0.021	0.761	0.017	0.015	0.748	0.020
Wave Drift	m0.064	0.335	0.204	0.620	0.189	0.017	0.749	0.087	Wave Drift	m0.064	0.105	0.323	0.709	0.032	0.182	0.782	0.013

Table 7.11: Virtual scenarios associated with each phase considered. Unshaded areas are those scenarios compatible with the archaeological record, shaded areas are those that are not.

7.3.2 Excluded scenarios

We should bear in mind that our model has been constructed to reproduce a process of pure hitchhiking without taking other factors into account. Therefore, assuming that the archaeological samples are a result of this type of expansion, it is obvious that the excluded scenarios will probably represent those processes that cannot reproduce the empirical record. This means that if there was cultural hitchhiking during Neolithic expansion, it will not fit the

movement, copycat and mutation processes that characterize this group of scenarios. For this reason it would be a good idea to pause for a moment and analyse their behaviour and characteristics in both phases.

The first thing we see is that there are 18 excluded scenarios in the *impressa* phase, while in the *late impressa* only 12 cases do not fit the archaeological data. Also in the latter case, two scenarios on the borderline of the confidence interval limits –*leapfrog30*, *ancient*, $\mu 0.004$ and *wave*, *drift*, $\mu 0.032$ – have been eliminated. The reason we are not considering them is because if we calculate the coefficient of determination of the CDC in both cases, the r^2 values do not exceed 0.55. It is also interesting that of the 30 scenarios eliminated, 24 are present in both phases while the remaining 6 are only present in the *impressa* phase. These results were to be expected given that accepting the hitchhiking hypothesis implies that if, when pottery first started to appear, the process cannot be documented, then with the passing of time hitchhiking will continue and still be impossible to appreciate. The fact that the remaining 6 scenarios are all to be found in the *impressa* phase may stem from the size of the sample, which we should remember is only 6 regions as opposed to 9 for the *late impressa*.

It should be mentioned that all the *wave common* scenarios have been eliminated in both phases as they presented very high values associated with maximum cultural distance or cultural rank (figure 7.18).

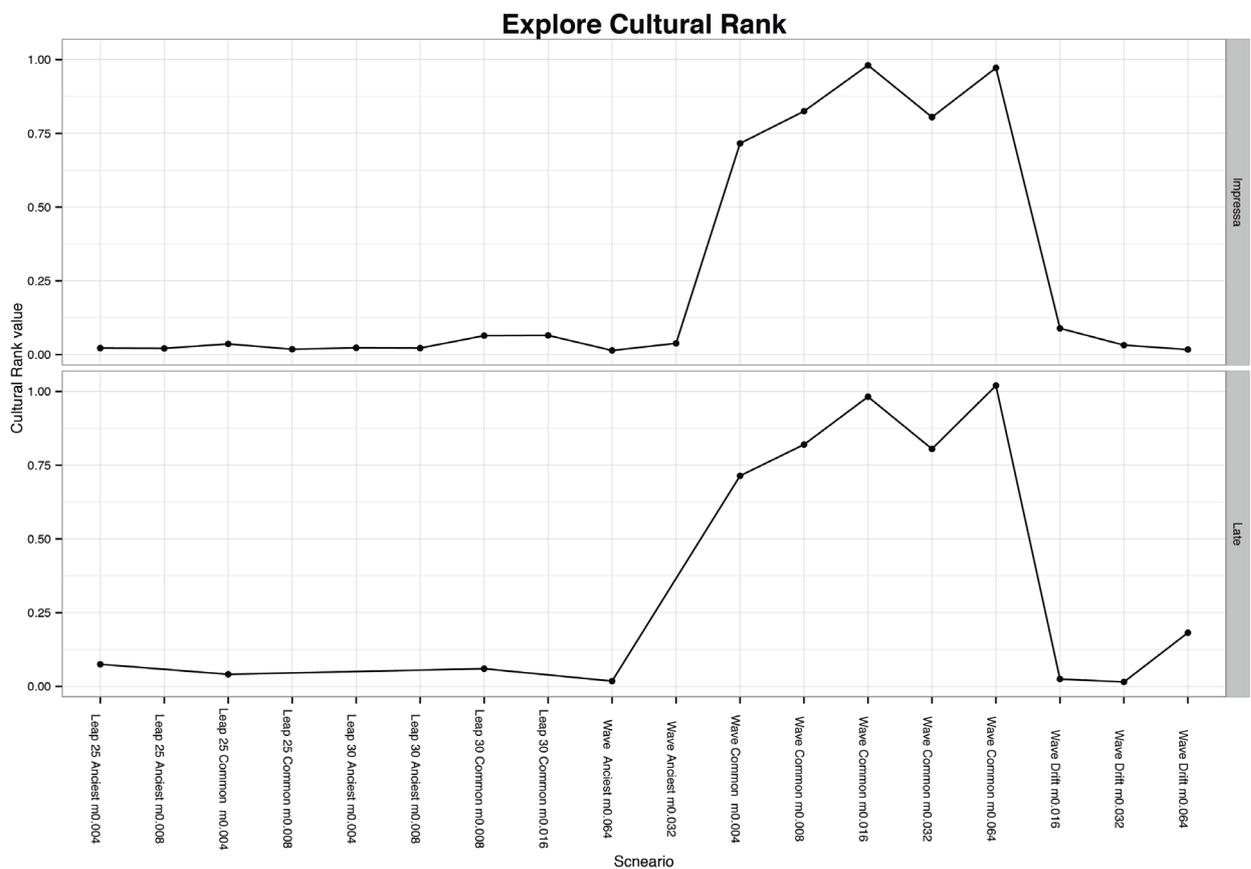


Figure 7.18: Representation of the Cultural rank associated with the excluded scenarios.

Most of the scenarios eliminated are characterized by being associated with a copycat process based on bias –“common” or “ancient”– regardless of the movement simulated (figure 7.19). However, it should be noted that in the case of the leapfrog expansion process, whatever the maximum distance, no scenario based on drift has been eliminated.

Comparative wave of advance and leapfrog excluded scenarios

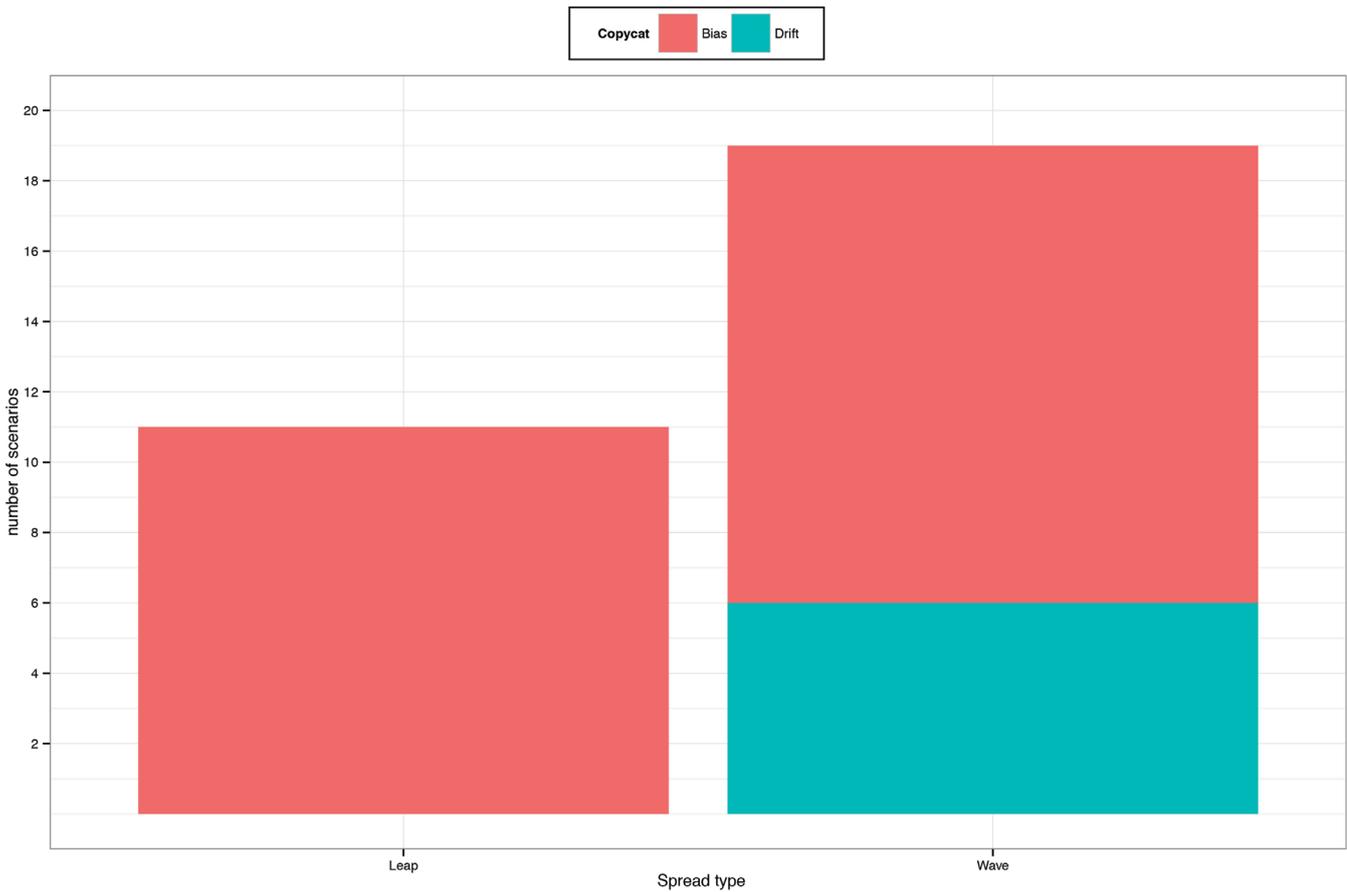


Figure 7.19: Comparison between types of expansion in relation to the copycat process.

Finally, as regards mutation rates, most of the excluded scenarios associated with the leapfrog movement present a rate of between 0.004 and 0.008, while most of those associated with wave of advance, regardless of interaction process, present a μ of between 0.016 and 0.064 (figure 7.20).

In short, we can conclude that if the archaeological data used in this investigation fit the cultural hitchhiking hypothesis, this process could not have originated in line with the parameters of the excluded scenarios. We therefore need to find better scenarios among those that have not been excluded.

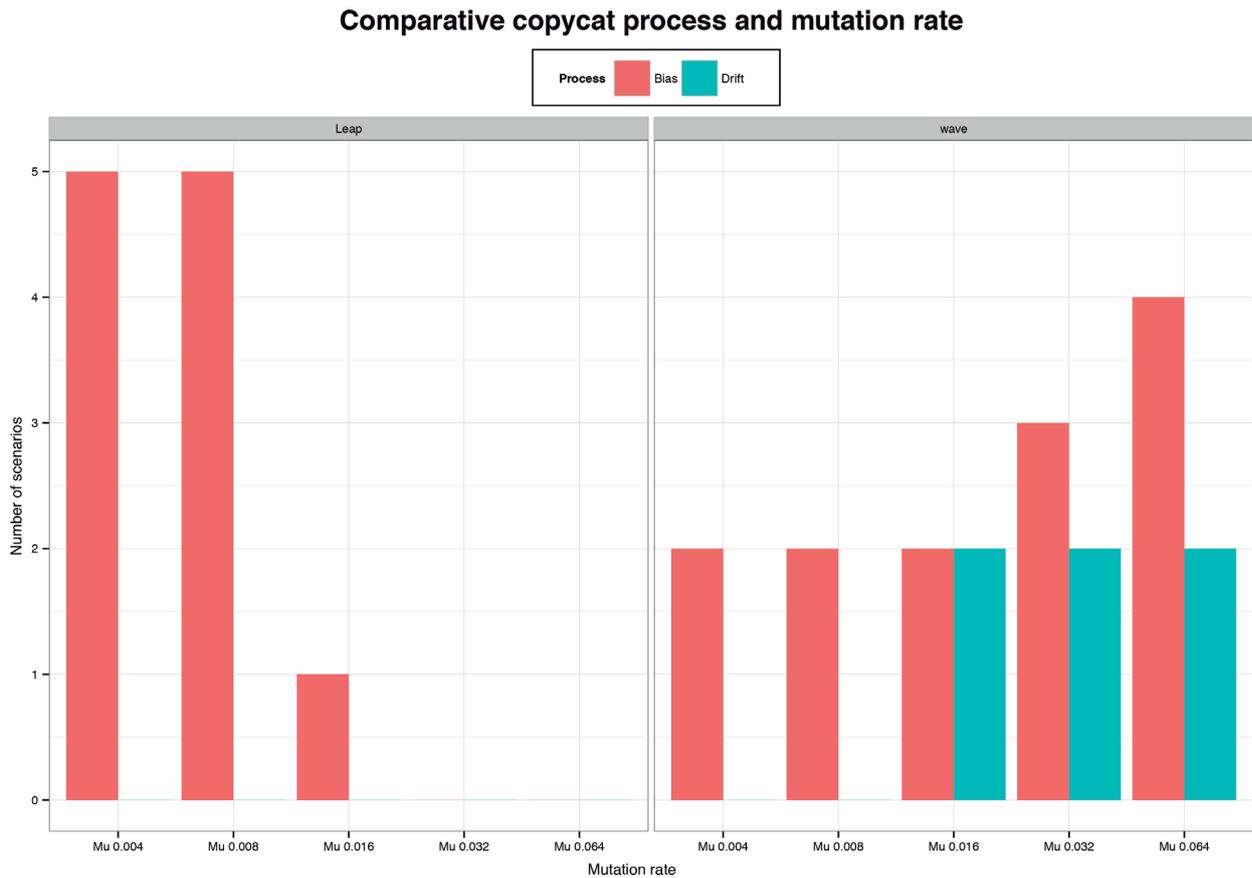


Figure 7.20: Comparison between types of expansion in relation to copycat process and mutation rate.

7.3.3 Looking for cultural hitchhiking scenarios

In this case 30 of the 45⁷⁷ initial scenarios present values compatible with the archaeological samples (table 7.12). Therefore our main objective is to discover which of them would best be able to generate results compatible with the archaeological record, and for this we will need to use the CDC. It should be remembered that this index, a Pearson correlation, is in itself a comparison between each virtual scenario and its archaeological sample.

If, as mentioned earlier, we accept that our virtual model reflects pure hitchhiking, this could only be observed through high correlations associated with the CDC, then as the hitchhiking effect fades away, the correlation coefficient should become lower. The problem lies in determining which values reflect each case. In the end any decision will always be subjective, but we can establish a gradation in the influence of cultural hitchhiking based on the joint distribution of the coefficient of determination in both samples, enabling us to define a series of ranks and then analyse their behaviour. In line with this criterion we have established 4 groups (figure 7.21) based on the distribution of the r^2 of the CDC.

⁷⁷ Table 7.12 shows 60 records, but those scenarios that are present in both phases are counted twice. In other words the 60 records correspond to 30 scenarios.

7. BRINGING THE VIRTUAL WORLD AND THE REAL WORLD TOGETHER

ID	Scenario	Mantel	BR&Cheby	Rank	CDC	Fase	r2CDC
1	Leap 25 Common m0.032	0.940	0.940	0.185	0.975	Impressa	0.950
2	Leap 30 Anciest m0.064	0.829	0.903	0.132	0.971	Impressa	0.943
3	Leap 25 Drift m0.016	0.889	0.906	0.167	0.970	Impressa	0.941
4	Leap 30 Common m0.032	0.942	0.955	0.216	0.969	Late Impressa	0.939
5	Leap 25 Drift m0.032	0.919	0.897	0.116	0.969	Impressa	0.938
6	Leap 30 Drift m0.032	0.950	0.953	0.201	0.968	Impressa	0.938
7	Leap 30 Anciest m0.032	0.961	0.944	0.152	0.966	Impressa	0.934
8	Leap 30 Common m0.064	0.944	0.946	0.239	0.965	Impressa	0.932
9	Leap 30 Drift m0.016	0.960	0.932	0.163	0.959	Impressa	0.921
10	Leap 30 Common m0.016	0.928	0.983	0.131	0.958	Late Impressa	0.918
11	Leap 25 Drift m0.008	0.950	0.990	0.184	0.958	Late Impressa	0.918
12	Leap 30 Common m0.064	0.981	0.992	0.366	0.955	Late Impressa	0.913
13	Leap 25 Drift m0.008	0.777	0.885	0.137	0.955	Impressa	0.911
14	Leap 25 Drift m0.032	0.958	0.989	0.176	0.953	Late Impressa	0.908
15	Wave Drift m0.004	0.888	0.980	0.202	0.952	Late Impressa	0.906
16	Wave Anciest m0.004	0.819	0.913	0.171	0.952	Impressa	0.906
17	Leap 25 Drift m0.004	0.970	0.982	0.141	0.951	Late Impressa	0.905
18	Leap 30 Drift m0.008	0.856	0.867	0.082	0.950	Impressa	0.902
19	Leap 25 Anciest m0.032	0.951	0.971	0.163	0.949	Late Impressa	0.901
20	Leap 25 Common m0.064	0.963	0.972	0.182	0.948	Late Impressa	0.899
21	Leap 25 Common m0.016	0.883	0.857	0.093	0.948	Impressa	0.899
22	Leap 25 Common m0.016	0.976	0.970	0.285	0.948	Late Impressa	0.899
23	Leap 25 Drift m0.016	0.969	0.985	0.234	0.947	Late Impressa	0.898
24	Leap 25 Anciest m0.064	0.674	0.851	0.156	0.947	Impressa	0.897
25	Leap 30 Drift m0.032	0.991	0.999	0.229	0.946	Late Impressa	0.895
26	Leap 25 Drift m0.004	0.772	0.862	0.107	0.944	Impressa	0.890
27	Leap 30 Anciest m0.008	0.893	0.953	0.060	0.941	Late Impressa	0.885
28	Leap 30 Common m0.032	0.877	0.869	0.111	0.940	Impressa	0.884
29	Leap 30 Drift m0.016	0.989	0.991	0.244	0.939	Late Impressa	0.883
30	Leap 30 Drift m0.004	0.739	0.826	0.079	0.939	Impressa	0.881
31	Leap 25 Anciest m0.064	0.872	0.920	0.182	0.938	Late Impressa	0.880
32	Leap 25 Anciest m0.016	0.909	0.963	0.119	0.938	Late Impressa	0.880
33	Leap 30 Common m0.004	0.763	0.835	0.059	0.938	Impressa	0.880
34	Leap 30 Drift m0.064	0.973	0.974	0.211	0.938	Impressa	0.879
35	Leap 30 Drift m0.064	0.986	0.985	0.176	0.936	Late Impressa	0.877
36	Leap 25 Anciest m0.016	0.867	0.812	0.052	0.936	Impressa	0.876
37	Leap 30 Drift m0.004	0.941	0.978	0.129	0.936	Late Impressa	0.876
38	Leap 25 Anciest m0.032	0.820	0.857	0.094	0.935	Impressa	0.875
39	Leap 30 Drift m0.008	0.924	0.983	0.141	0.935	Late Impressa	0.874
40	Leap 30 Anciest m0.016	0.968	0.975	0.115	0.934	Late Impressa	0.871
41	Leap 30 Common m0.004	0.959	0.975	0.085	0.932	Late Impressa	0.869
42	Leap 30 Anciest m0.032	0.978	0.986	0.181	0.930	Late Impressa	0.865
43	Leap 25 Common m0.032	0.957	0.999	0.357	0.930	Late Impressa	0.864
44	Leap 30 Anciest m0.064	0.965	0.973	0.126	0.930	Late Impressa	0.864
45	Wave Anciest m0.004	0.954	0.979	0.194	0.921	Late Impressa	0.849
46	Wave Drift m0.004	0.870	0.989	0.399	0.916	Impressa	0.839
47	Leap 25 Anciest m0.008	0.846	0.899	0.113	0.914	Late Impressa	0.836
48	Wave Drift m0.008	0.798	0.990	0.305	0.913	Impressa	0.834
49	Leap 25 Drift m0.064	0.877	0.891	0.134	0.913	Impressa	0.834
50	Leap 30 Anciest m0.016	0.755	0.815	0.073	0.906	Impressa	0.821
51	Wave Anciest m0.008	0.858	0.958	0.158	0.905	Impressa	0.819
52	Leap 25 Common m0.064	0.940	0.938	0.262	0.904	Impressa	0.818
53	Wave Anciest m0.016	0.860	0.931	0.148	0.889	Impressa	0.790
54	Wave Drift m0.008	0.655	0.955	0.044	0.886	Late Impressa	0.785
55	Leap 25 Drift m0.064	0.939	0.939	0.114	0.881	Late Impressa	0.776
56	Wave Anciest m0.008	0.976	0.976	0.176	0.840	Late Impressa	0.705
57	Wave Anciest m0.032	0.642	0.808	0.032	0.838	Late Impressa	0.703
58	Leap 30 Anciest m0.004	0.879	0.852	0.029	0.829	Late Impressa	0.688
59	Leap 25 Common m0.008	0.803	0.805	0.172	0.794	Late Impressa	0.630
60	Wave Anciest m0.016	0.883	0.883	0.079	0.772	Late Impressa	0.596

Table 7.12: Virtual scenarios considered as possible candidates in which to document the influence of cultural hitchhiking.

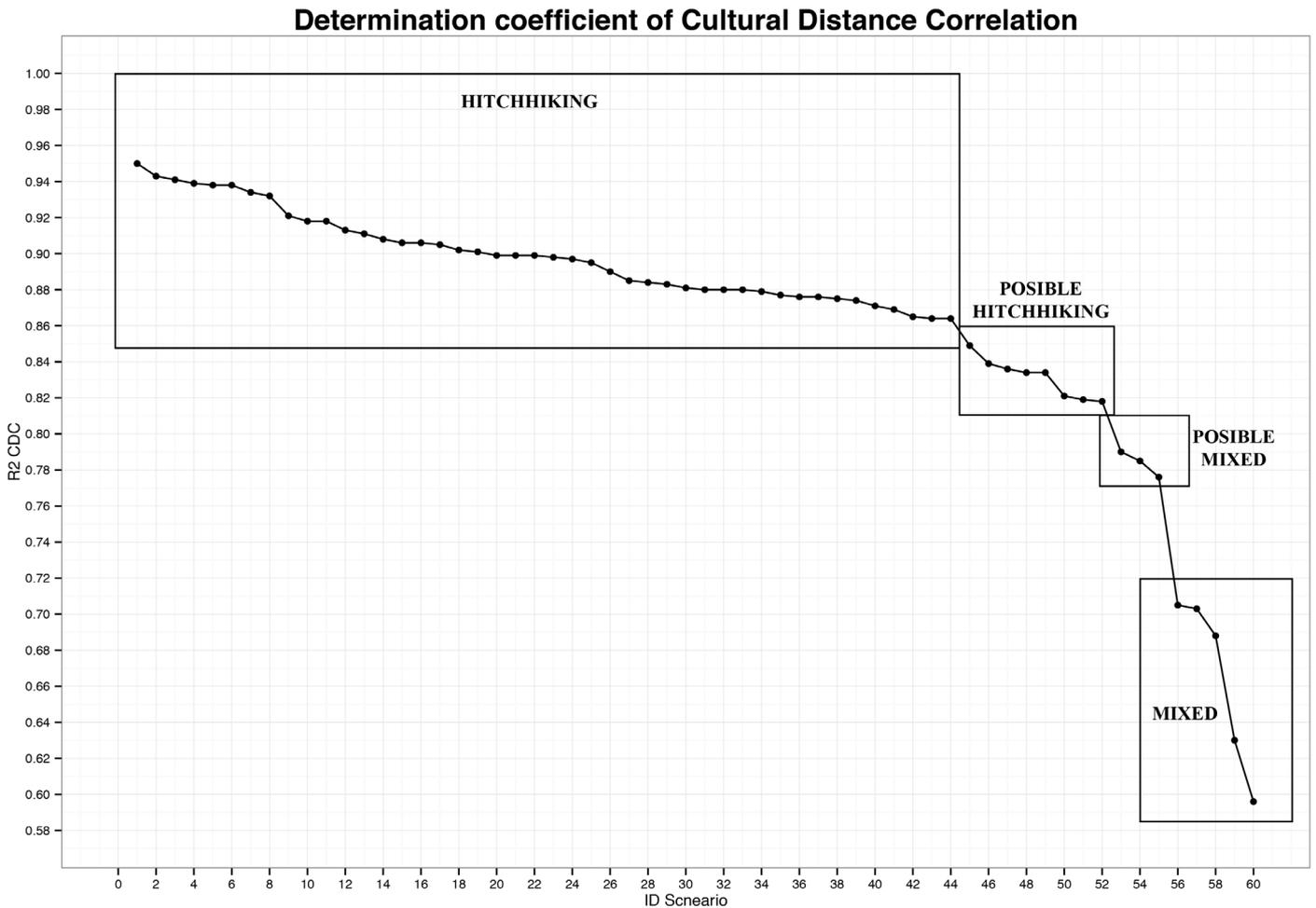


Figure 7.21: Scenarios from both phases ordered according to the CDC coefficient of determination.

a) *Hitchhiking*: This group corresponds to scenarios that present very high correlations with values of $r^2 \geq 0.86$ of the common variation explained. In principle, these would be the best candidates for explaining cultural hitchhiking.

b) *Possible hitchhiking*: This group presents a slightly lower correlation coefficient than the previous group, $r^2 \geq 0.81$, and it was therefore thought best to classify it as possible hitchhiking.

The next 2 groups present lower coefficients of determination, which in our opinion suggests a much less obvious sign of cultural hitchhiking. These groups could reflect a varying combination of other processes as well as cultural hitchhiking, such as extinction, colonization or exchanges between groups (Nunn et al. 2010). Two groups have been considered depending on the value of r^2 :

c) *Probable mixed*: the r^2 threshold characterizing this group is ≥ 0.71 .

d) *Mixed*: scenarios presenting an $r^2 \geq 0.49$.

Now that the different groups have been defined, the next question is: what effect does the passing of time have on them? This is crucial for finding out whether the temporal dynamic fits as expected and whether the archaeological assemblages grouped in the *late impressa* phase

could be used to confirm its presence.

To this end we have decided to show the distribution of the r^2 coefficient of determination of the CDC associated with each of the phases considered (figure 22).

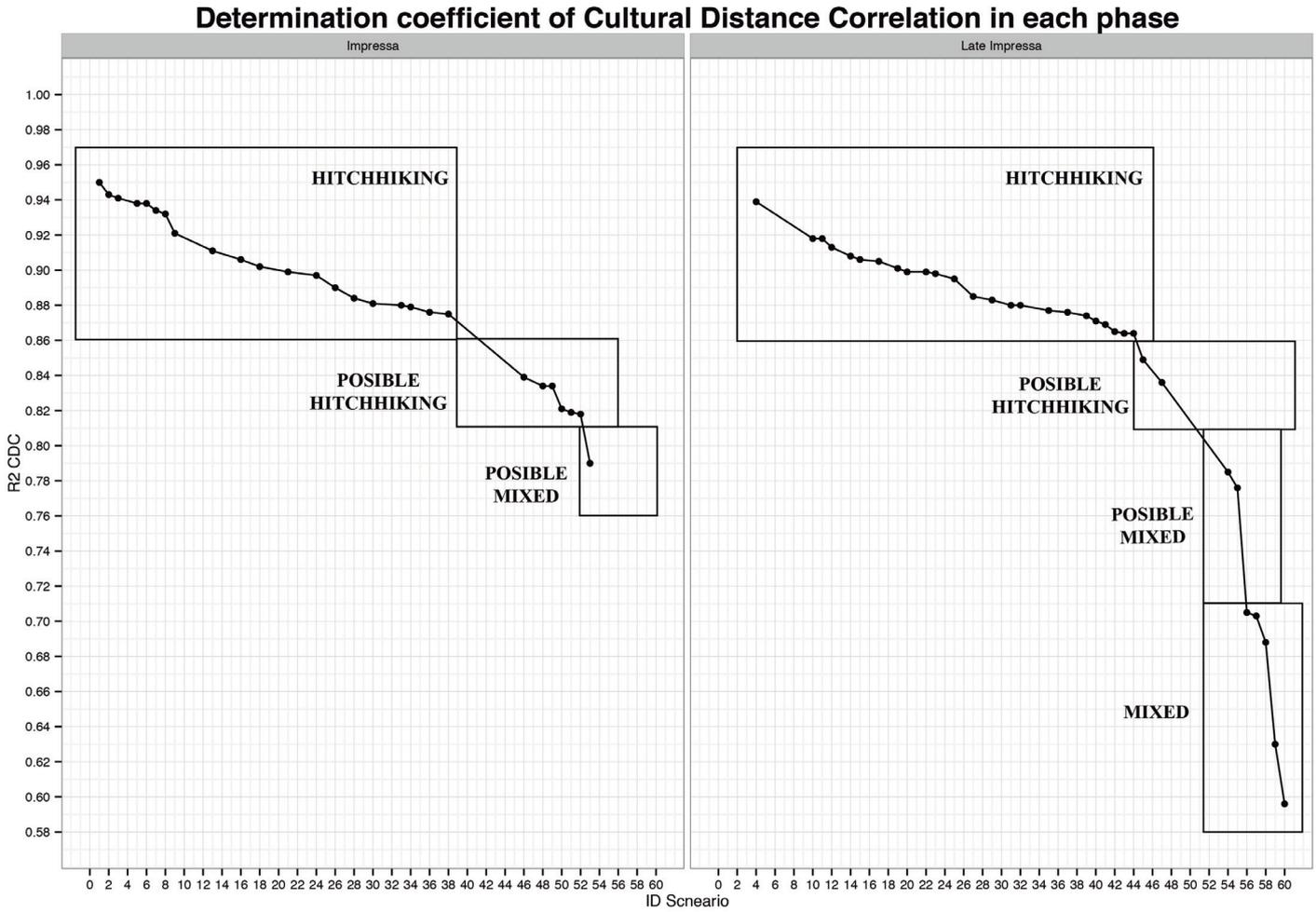


Figure 7.22: Scenarios from each phase ordered according to the CDC coefficient of determination.

It can quickly be seen that the spread of r^2 values is much higher in the *late impressa* phase than in the *impressa* –0.59 to 0.93 as opposed to 0.77 to 0.95. So how are we to interpret this dynamic? It corresponds to what was expected in that, if we assume a high incidence of cultural hitchhiking during Neolithic expansion, we would suspect that this expansion would tend to fade away with the passing of time. This means that the archaeological record used in the investigation can be explained by the cultural hitchhiking hypothesis during the earliest moments of expansion –here around 150 years– although later, at around 300 years, the documentation of cultural hitchhiking seems to be limited to fewer scenarios.

So which are the scenarios that change over time? And more importantly, how do they evolve? To find out we need to analyse those scenarios present in both phases that represent the vast majority, highlighting their dynamic of change. To this end, bearing in mind that the sce-

narios classified as hitchhiking represent the best option, we examine the evolutionary dynamic of each scenario distinguishing between the following three possibilities:

- a) Same: the scenario falls into the same category in both phases.
- b) Better: the scenario improves its classification, e.g. from possible hitchhiking to hitchhiking.
- c) Worse: the scenario’s classification worsens, e.g. the reverse of the above case.

Figure 7.23 perfectly illustrates the trend of the common scenarios. Most of them remain stable, especially those classified as hitchhiking during the *impresa* phase. Of the 21 cases classified as hitchhiking, only one changes trend, improving, thereby appearing as hitchhiking in the *late impresa* phase and possible hitchhiking in the *impresa*. In the other common scenarios, the trend seems to be towards a worsening in that only three scenario sees an improvement while 7 deteriorate.

Distribution common scenarios according to evolutionary trend

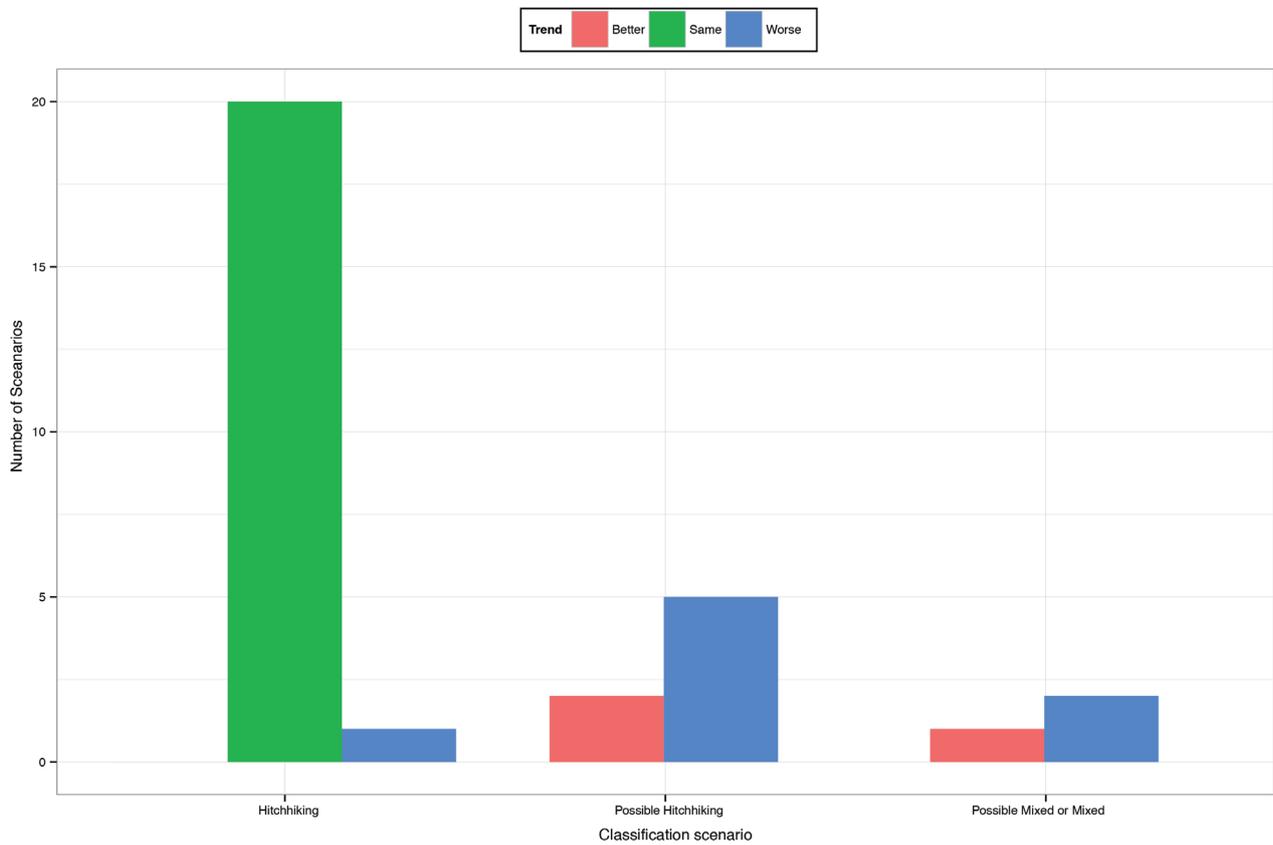


Figure 7.23: Distribution of the various common scenarios according to evolutionary trend.

All 6 scenarios that appear in a single phase do so in the more recent one, the *late impresa*. Two of them –wave most ancient 0.008 and wave drift 0.004– are classified as hitchhiking, one as possible hitchhiking –leapfrog 25 most ancient 0.008– and the remaining 3 as possible mixed or mixed –leapfrog 25 common 0.008, leapfrog 30 most ancient 0.004 and wave most ancient 0.032–.

A joint reading of the information presented above allows us to conclude that only those scenarios defined as hitchhiking should be possible candidates to be examined for cultural hitchhiking because the others suffer from background noise associated either with sample size or the appearance of new processes involving selection patterns. We will therefore move on to describe and analyse those scenarios considered to be hitchhiking in both phases.

First of all as regards the question of movement, it is very interesting that all the scenarios affected by a possible cultural hitchhiking process are characterized by association with a leapfrog-based expansion. This means that, although the leapfrog movement may be associated with hitchhiking, in only 19 –63%– of the 30 leapfrog scenarios simulated in our investigation will it be possible to document the existence of that process once a certain time has passed. The maximum movement distance –125 or 150 km– does not seem to be important as both distances have around 50% representation. However, what is indeed significant is that the interactions to acquire the cultural variable occur among those cells located at a certain distance and not between immediate neighbours. Bearing all this in mind, the main question that emerges is: what criteria influence the interaction between Neolithic groups? There is no doubt that everything seems to indicate that once they are established in their different areas, the maximum interaction distance becomes secondary and the relationships between the groups need to be linked to other things. These interactions could, for example, be based on aspects of connectivity. This means that information is transmitted via networks and therefore the topology of these networks affects the results because of their co-evolutionary character (Lozano 2009). Other phenomena that could drive interaction would be criteria associated with parental links or alliances between different groups, for instance. This means that the transmission of information would be of a homotypic nature, i.e. interaction only takes place between groups that basically consider themselves equal (Shennan, Crema & Kerig 2015; Centola 2011; Centola et al. 2007).

The second noteworthy aspect is the cultural selection processes characterizing these scenarios (figure 7.24). Given that as already mentioned there are no differences between the maximum distance and that in which interaction occurs, we will analyse the 19 scenarios together.

The first thing we notice from the graph is that the archaeological record fits better when the interaction process accompanying cultural hitchhiking is drift because this group of scenarios accounts for 47%, while the “most ancient” and “most common” processes each account for 26.5%. However, it should be remembered that “most ancient” and “most common” represent cultural selection based on bias (Boyd & Richerson 1985) and we therefore need to consider it as a specific group. Consequently our first exploration of the graph should be qualified since the scenarios based on bias represent 53% of the scenarios that could explain the empirical record. Bearing this in mind we can conclude that both cultural selection processes are balanced. From our point of view this means that an evolutionary process able to reproduce cultural hitchhiking cannot be based on drift alone, and that different copycat processes with bias can produce the same results. This is a

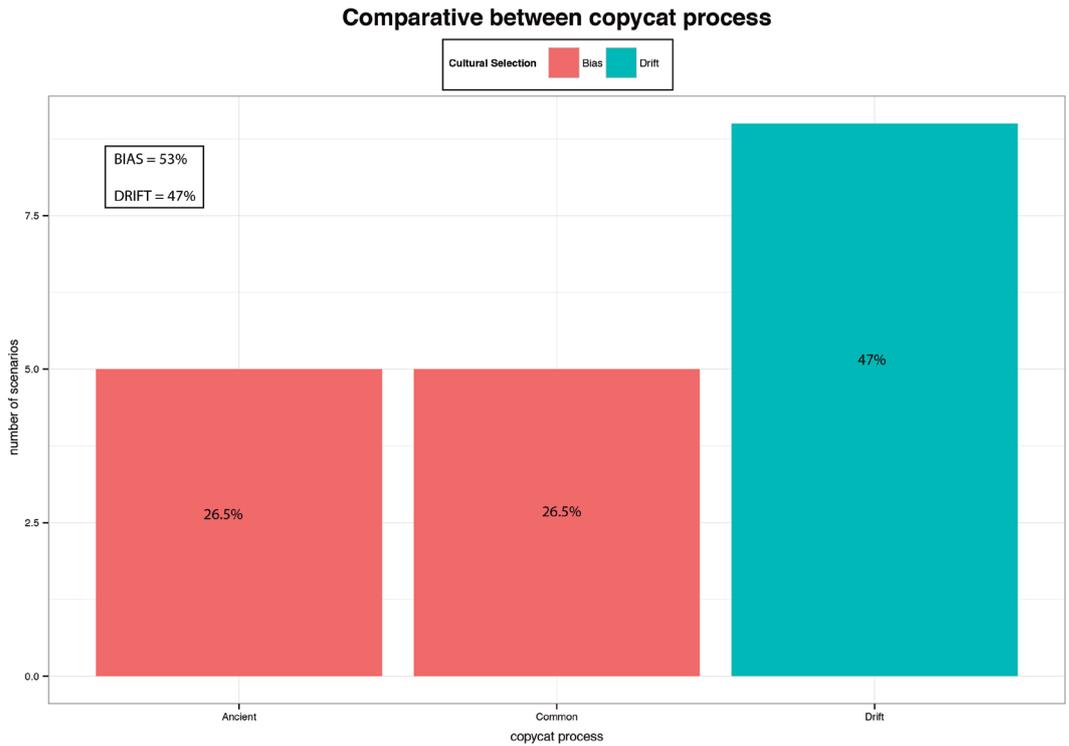


Figure 7.24: Number of scenarios associated with each of the interaction processes.

question that has also arisen as regards the Neolithic LBK, the conclusion being that along with drift there were other mechanisms in the cultural selection process that affected the cultural variability of the Neolithic (Shennan & Wilkinson 2001; Kandler & Shennan 2013).

The next aspect to highlight concerns the mutation rates that characterize the scenarios (figure 7.25).

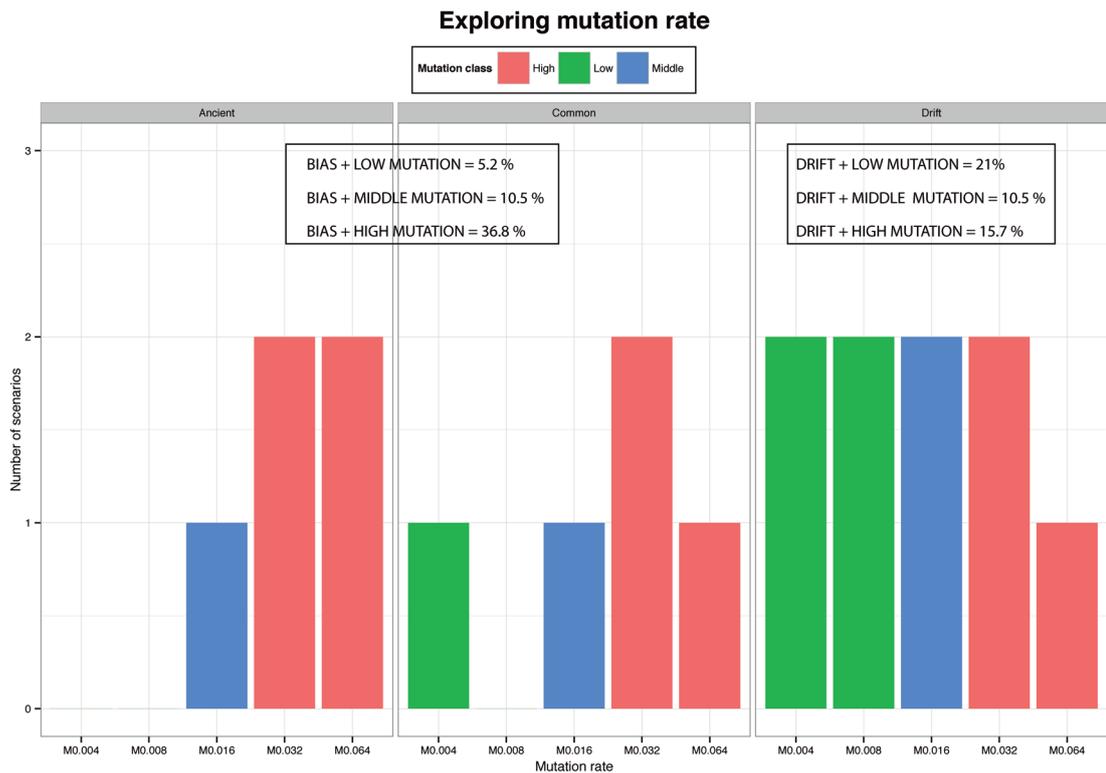


Figure 7.25: Distribution of scenarios according to mutation rate and interaction process.

These have been grouped as follows: a) low, with μ values of 0.004 and 0.008; b) medium, with a μ value of 0.016; and c) high, with μ values of 0.032 and 0.064.

As can be seen from the graph, although all the mutation rates are present in the scenarios, there are trends that merit attention. Of the 19 scenarios considered, those defined by a biased copycat process are characterized by high mutation rates –36.8%–, while those cases in which cultural selection occurs randomly are mainly characterized by low mutation rates –21%–.

These trends indicate that when cultural selection occurs randomly, those scenarios with low or high mutation rates are the ones in which possible traces of the influence of cultural hitchhiking might be found as they account for around 36% of the scenarios. Meanwhile for interaction based on bias, it is the cases with high mutation rates that may hold traces of cultural hitchhiking.

Now that we have observed the trends of the scenarios that best fit the archaeological record on the basis of movement, mutation rate and interaction process, it would be a good time to analyse the behaviour of the three statistical measurements: the Mantel test, BR&Chebyshev and cultural rank –Figure 7.26–. In order for there to be a hitchhiking influence in the spread of the first Neolithic groups, we need to find three behaviours in our results: a) a high correlation between the cultural and spatial variable as regards the starting point of the expansion process, i.e. southern Italy, at least during the early stages of expansion; b) a certain degree of correlation in the Mantel test; and c) an absolute cultural rank that should function in the opposite way to the BR&Chebyshev measurement, i.e. the maximum distance between the regions closest to and furthest from the supposed point of origin –southern Italy– should be small, at least in the early stages.

A simple inspection of the graph allows us to see that the *late impressa* phase throws up higher correlations than the *impressa* in the case of the Mantel test and the BR&Chebyshev, while as regards cultural rank, the cultural difference is higher in the *late impressa* than in the *impressa*. So how should we read this? The statistical measurements in the compatible scenarios certainly present the expected behaviour characterized by high correlations as regards the Mantel test and the BR&Chebyshev index, while cultural rank increases its value as time passes, allowing us to confirm possible cultural hitchhiking.

To sum up, the results obtained in this doctoral thesis point to three conclusions that we can summarize as follows:

1.) There is a very significant probability that the archaeological pottery record of the early Neolithic was formed due to a cultural hitchhiking process. At least 19 of the 45 scenarios investigated produce a result compatible with the record used. This supports the idea that Neolithic expansion in the western Mediterranean was to a significant degree due to some type of demic diffusion, as suggested in other investigations (e.g. Ammerman & Cavalli-Sforza 1984).

Exploring hitchhiking measures

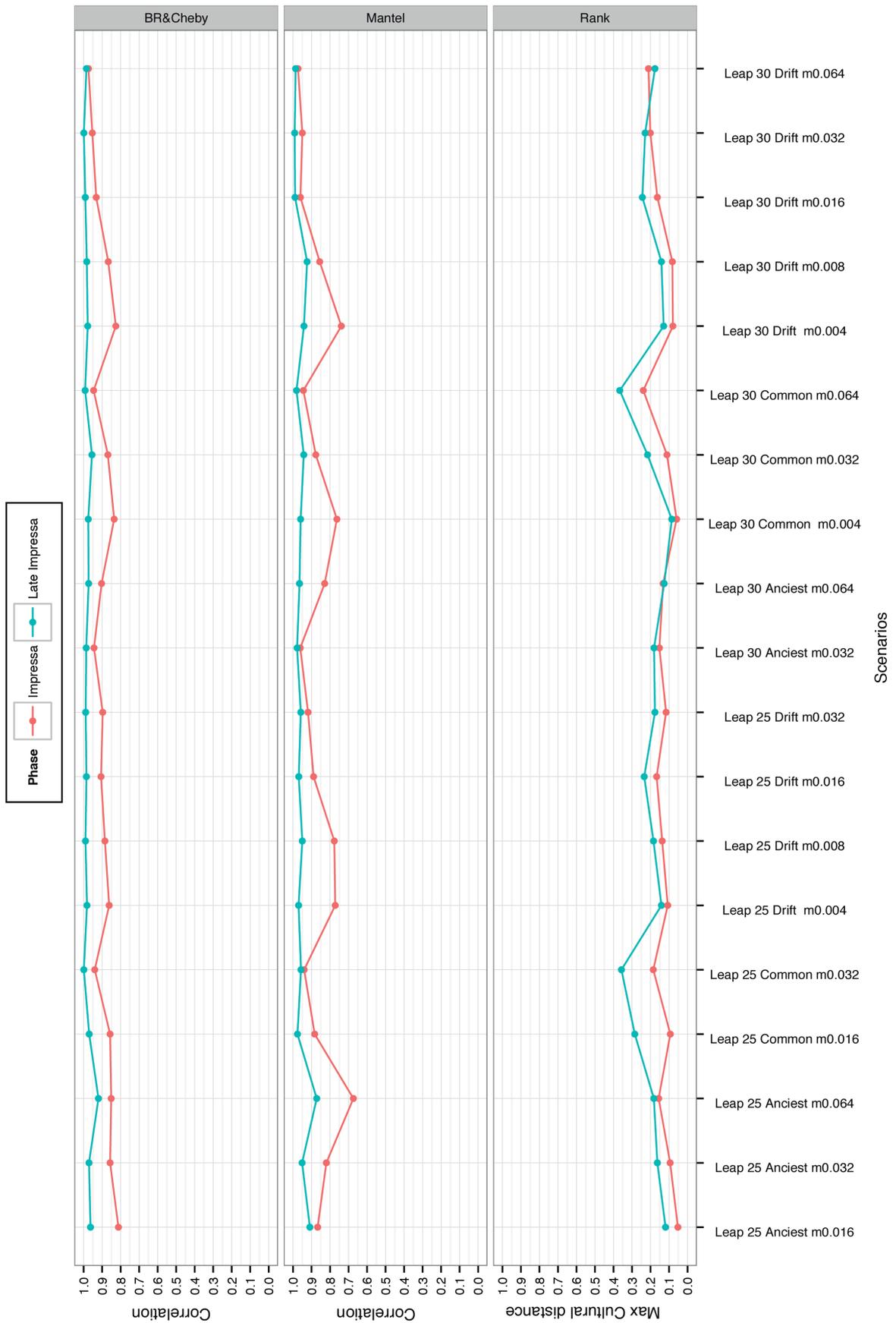


Figure 7.26: Distribution of the three measurements associated with cultural hitchhiking in the compatible scenarios.

2.) With the methodology used in this work it would be possible to identify signs relating to cultural hitchhiking even when using the archaeological record accumulated in successive time windows, at least in the first 300 years after the appearance of pottery in each region.^{3.)} The parameters that produce the best scenarios –i.e. those with the highest correlations in relation to the archaeological samples– suggest that cultural hitchhiking was most probably a result of a biased copycat process associated with a high mutation rate –75% of the scenarios have a μ value of between 0.016 and 0.064–.

7.4 Conclusions, evaluations and suggestions for the future

This doctoral thesis has achieved the main aim set at the start of the investigation, that of demonstrating that cultural hitchhiking could have existed during Neolithic expansion in the western Mediterranean, affecting the variability of the earliest appearances of pottery. It has also been demonstrated that approaching the archaeological record from complex systems and agent-based modelling is not only a robust methodology but also complements the narrative investigations that generally characterize the archaeological discipline.

Our reading of the archaeological record based on the theory of evolution, complex adaptive systems and the use of computer modelling enabled us to outline a series of results that we then went on to develop.

Computer modelling is a very useful tool for archaeological investigation because its *generative* character makes it possible to create an unlimited number of scenarios *in silico* (Epstein & Axtell 1996) that can be evaluated using the archaeological record. Meanwhile agent-based models allow numerous aspects that we would not be able to observe directly in the archaeological record to be simulated (Shennan 2002; Barton 2013a), and applying the theory of evolution is used to give agents different rules for interaction (Miller & Page 2007: 180). In short, this work has demonstrated the validity of simulation as a way of approaching past societies following the lines laid down by other investigations (e.g. Epstein & Axtell 1996; Kohler & Varien 2012).

The statistical measurement used to check that the virtual results fit the archaeological results –the cultural distance correlation [CDC]– has also been extremely useful as it meant we could quickly identify cases of compatibility without too many calculations. The three measurements used for identifying cultural hitchhiking have been very useful too as they make it possible to explore the results from a three-sided viewpoint: a) correlations in the general pattern of the western Mediterranean, b) correlations with the theoretical point of origin, and c) the behaviour of cultural distance.

The central issue in this work was to explore the viability of the cultural hitchhiking hypothesis. To do so we assumed a demic diffusion model because “demic flow raises the possibility that cultural, genetic and linguistic traits with no intrinsic advantage may ‘hitchhike’, i.e. spread with the advancing farmers” (Ackland et al. 2007:8714). The results obtained in the

thesis could have interesting consequences affecting both the consideration of the type of process that explains the spread of the Neolithic in the western Mediterranean and the possibilities of using a theoretical framework of evolutionary archaeology in archaeological investigation:

a.) The probability that the pottery record took shape as a result of a cultural hitchhiking process governed by certain rules is high as at least 43% of the scenarios are compatible with the archaeological record. Our results indicate that demic expansion and the radius of interaction between groups occurred in isolated movements covering distances no greater than 150 km.

b) Cultural hitchhiking is visible regardless of the processes existing in cultural selection. However, our results suggest that the most likely scenarios are those resulting from a selection process based on biases of different types and associated with high mutation rates. The results also suggest that cultural drift with a low innovation rate was present in the cultural variability of the early Neolithic in the western Mediterranean. Hence the polyformism of the early appearances of pottery, which some researchers deem to be incompatible with a demic expansion process (Díaz del Río 2011; Cruz Berrocal 2012), could well be seen as a consequence of cultural hitchhiking in which culture is linked just to farming and livestock in the colonization process in the western Mediterranean. This can be extrapolated to other aspects, such as genes.

c) As regards the temporal division of the information available, the time window with a duration of around 300 years is still useful for documenting the existence of cultural hitchhiking, although within this window we also see results associated with other processes emerge.

7.4.1 Evaluations

Despite the fact that this investigation has presented new advances and lines of interpretation regarding the cultural diversity of the early Neolithic in the western Mediterranean, we need to evaluate certain matters involving the data for the record used.

Although the two chronological phases used in this investigation are not very detailed, they do enable us to intuit the evolutionary dynamic of the early Neolithic characterized by the emergence of new interaction processes that tend to smooth the presence of possible cultural hitchhiking. Other works have indeed set more precise time bands, e.g. 50 years (Mills et al. 2013), which allow a more detailed evolutionary reading. As far as we are concerned, the archaeological information in this investigation is scant and fragmented and therefore creating a greater number of windows would mean fragmenting the archaeological record even more.

Another matter that merits our attention is the archaeological record used. The very nature of this record has certainly been our main stumbling block. In this respect we believe that our method of unifying the information by region, although by no means perfect, minimizes the problems of sample bias associated with microrepresentation and macrorepresentation. With the bias issue solved, the next problem concerned the criterion for constructing the archaeological sample. In this investigation we decided to prioritize quality by using two key aspects:

chronology and size.

As regards the chronology of the collections, our criterion of using only those that have been radiocarbon dated allowed us to locate the pottery assemblages in time, though not with absolute certainty. It needs to be remembered that we used sites presenting information associated with various chronological phases which it was impossible to distinguish between, and therefore it was decided to consider them as recent. In some regions, mainly southern Italy, we also included sites without radiocarbon dating, being guided here by the attribution given them by our Italian colleagues. Using only archaeological information with a clear chronological attribution enabled us to improve the quality of the sample and by extension the robustness of our results.

Another issue was sample size. We need to differentiate and this affects both the size of the information in each region and the total size of the regions used. As regards the former, we have observed that this has a significant effect on the results. Our criterion for establishing a minimum number of remains to “make the region usable” was fundamental for giving us enough information for each area, although equally it meant reducing the number of regions used. This meant that the sample sizes in the two phases considered were small and unequal, 6 and 9. Although this was a handicap when it came to comparing the two samples, it did not prevent us from making an approximation of the evolutionary dynamics in the western Mediterranean, which necessarily has to be considered provisional. The criterion used to characterize the sample posed many problems, but the fact that quality was prioritized over quantity enabled us to obtain some interesting results. In this respect most of the samples were located in the cardial area, but this should not lead us to misinterpret the results, i.e. that cultural hitchhiking could only have existed in the cardial area. We therefore need to find out whether the other regions not considered were also affected by cultural hitchhiking. Unfortunately the indeterminate archaeological sample means that this question remains unanswered.

7.4.2 Suggestions for the future

As mentioned in the conclusions, this doctoral thesis is a starting point for analysing the cultural variability of early Neolithic groups in the western Mediterranean using an approach based on complex adaptive systems and the theory of evolution, using computer simulation as the basic method, specifically agent-based models.

7.4.2.1 Extending the model

In this section we will focus on matters that were not implemented in our cultural expansion model but which need to be considered in the future.

a) The virtual world: Our modelling is based on the expansion of farming groups in an

ecological context. The reason for using this “cartography” was that the literature on the spread of early Neolithic groups stresses the importance of environmental factors as the trigger for dispersion. In this thesis our ecological base was current, but we are now working on an ecology based on the environmental conditions of the mid-Holocene around 6000 BP.

In the future we need to set up another type of cartography to make our investigation more robust, i.e. natural borders and connectivity-based cartography. The latter would mean creating a complementary model based on networks, similar to that created in other contexts (Franz & Nunn 2009). We also need to include navigation associated with the expansion process. This would involve constructing complementary cartographic support based on sea currents and “blackspots” for ancient navigation.

b) Modelling *per se*: In our opinion there are three areas that need to be dealt with in the future: a farming failure index, the pre-existing population and a mixed expansion process. The first involves programming an algorithm to give us a percentage of failure in agriculture. This would give us a more real scenario in which success in the expansion process is not assured. In parallel to the farming failure index we should consider introducing an “ideal despotic distribution”, as we have in another work (Bernabeu et al. 2015). This would let us evaluate whether or not the selection of particular areas to settle has an influence on the cultural variability of the early Neolithic. It should also be stressed that ours is a pure expansion model, which means it does not consider the existence of Mesolithic groups, and we therefore think it would be a good idea in future to model the hunter-gatherer populations along the lines proposed by Ackland et al. (2007) since they could be a crucial agent in eliminating cultural hitchhiking with the acceptance of one of the two memes. Finally, we believe it would be interesting in future to include a mixed expansion process, i.e. the possibility of an expansion based on a combination of wave of advance and leapfrog.

7.4.2.2 Chronological-cultural aspects

In this section we will look at issues associated with chronological and cultural aspects that should be considered in the future.

a) Comparing archaeological and virtual time. In our case, see Chapter 5, we only used certain dates obtained from domestic elements to establish the year-tick relationship. This equivalence should improve as we introduce new radiocarbon dates.

b) Another fundamental question that needs to be explored in the future is improving the chronological estimation of the archaeological collections. In this regard it would be a good idea to have various “time windows” with which to compare evolutionary dynamics in the same regions. To do this in the future we strongly believe we should apply methods characteristic of Bayesian statistics, as seen in Crema et al. (2014). This methodology would also enable us to culturally attribute pottery collections from sites without radiometric information and

from materials gathered from the surface because Bayesian modelling would give us dates for pottery collections, as suggested by Fernández-López de Pablo & Barton (2013).

c) As regards the variables used, everything indicates that they are very useful, but in future we need to introduce others such as the lithic industry. This would not only enable us to give more ‘realism’ to the results, it would also be fundamental for evaluating possible interactions with the pre-existing population because, since both populations have a lithic industry, this is the only variable that can be compared.

7.4.2.3 Processing the results

As far as comparison is concerned, we already mentioned in the evaluations that the archaeological sample poses problems of a different type, the most obvious being the scant sample available for the cultural phases considered. Regardless of this, however, our analysis was based on a quantitative approximation of the data and this was why we used cultural distance based on the Brainerd-Robinson coefficient. Perhaps using other types of measurement could affect how we interpret the cultural variability of the early Neolithic, so in the future we should apply qualitative measurements such as the Jaccard index (Shennan, Crema & Kerig 2015), the Morisita-Horn index (Crema, Kerig & Shennan 2014) or even measurements based on the presence or absence of information, such as the Hamming distance.

One final question that needs to be evaluated in the future is the size of the regions and its effect on the results. As noted in Chapter 5, in this investigation the different areas have been constructed by joining 50x50 grids based on geographical criteria, but analyses could be carried out following 100% geographical criteria, i.e. considering hydrographic basins as the minimum region size or using regions of the same size, as has been done in other works. But regardless of the criterion, these suggestions should certainly be tackled within the framework of a project specifically dedicated to the subject because it would mean more time spent on calculations and data processing.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- ABDOU, M., L. HAMILL, Y N.G. GILBERT. 2012. Designing and Bulding an Agent-Based Model. In *Agent-Based Models of Geographical Systems*, ed. A.J. Heppenstall, A.T. Crooks, L.M. See, y M. Batty, 141–165. New York: Springer.
- ABELLO, J.M., P.M. PARDALOS, Y M.G.C. RESENDRE. 2002. *Handbook of Massive Data Sets*. New York: Springer Science.
- ACERBI, A., Y R. A. BENTLEY. 2014. Biases in Cultural Transmission Shape the Turnover of Popular Traits. *Evolution and Human Behavior* 35, no. 3: 228–236.
- ACEVEDO, E., P. SILVA, H. SILVA, Y B. SOLER. 1999. Wheat Production in Mediterranean Environments. En *Wheat Ecology and Physiology of Yield Determination*, ed. E.H. Satorre y G.A. Slafer, 291–333. New York: The Haworth Press.
- ACKLAND, G.J., M. SIGNITZER, K. STRATFORD, Y M.H. COHEN. 2007. Cultural Hitchhiking on the Wave of Advance of Beneficial Technologies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104, no. 21: 8714–8719.
- AHMAD, L. 2013. Modeling the Neolithic Transition in Europe: Archaeobotanical Aspect of the Expansion of Neolithic Population in Europe. Tesis de Máster, Hamilton, Nueva Zelanda: University of Waikato. <http://research-commons.waikato.ac.nz/handle/10289/8440>.
- ALDAY, A. 2011a. El Dominio de la Cerámica Boquique: Discusiones Técnicas y Cronoculturales. *Saguntum: Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia* no. 12: 65–80.
- . 2011b. New Data for the Study of the Neolithic in the Interior of the Iberian Peninsula. Comments on J. Zilhao's Interpretation of the Mendandia Site. *Munibe Antropologia - Arkeologia* 62: 197–205.
- ALDENDERFER, M. 1998. Quantitative Methods in Archaeology: A Review of Recent Trends and Developments. *Journal of Archaeological Research* 6: 91–120.
- ALLAN, R.J. 2010. *Survey of Agent Based Modelling and Simulation Tools*. Technical Report. Warrington: Science and Technology Facilities Council.
- ALLEN, R., Peter M. 1997. *Cities and Regions as Self-Organizing Systems*. Londres: Gordon and Breach.
- ALLEY, R.B., Y A.M. AGUSTSDOTTIR. 2005. The 8k Event: Cause and Consequences of a Major Holocene Abrupt Climate Change. *Quaternary Science Reviews* 24, no. 10–11: 1123–1149.
- AMMERMAN, A.J. 2002. Returning to the Neolithic Transition in Europe. Ed. Ernestina Badal García, Joan Bernabeu, y Bernat Martí Oliver. *Saguntum: Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia* no. Extra 5. El Paisaje En El Neolítico Mediterráneo.: 13–21.
- AMMERMAN, A.J., Y L.L. CAVALLI-SFORZA. 1971. Measuring the Rate of Spread of Early Farming in Europe. *Man* 6, no. 4: 674–688.
- . 1973. A Population Model for the Diffusion of Early Farming in Europe. In *The Explanation of Culture Change: Models in Prehistory*, ed. C. Renfrew, 343–358. London: Duckworth.

- . 1979. The Wave of Advance Model for the Spread of Agriculture in Europe. In *Transformations: Mathematical Approaches to Culture Change*, ed. K.L. Cooke y C. Renfrew, 275–294. New York: Academic Press.
- . 1984. *The Neolithic Transition and the Genetics of Population in Europe*. Princeton-New Jersey: Princeton University Press.
- ANDEL, T VAN., Y C. RUNNELS. 1995. The Earliest Farmers in Europe. *Antiquity* 69: 481–500.
- AOKI, K., M. SHIDA, Y N. SHIGESADA. 1996. Travelling Wave Solutions for the Spread of Farmers into a Region Occupied by Hunter-Gatherers. *Theoretical Population Biology* 50, no. 1: 1–17.
- AOUADI, N., Y. DRIDI, Y W. BEN DHIA. 2014. Holocene Environment and Subsistence Patterns from Capsian and Neolithic Sites in Tunisia. *Quaternary International* 320: 3–14.
- ASCOUGH, P., G. COOK, Y A. DUGMORE. 2005. Methodological Approaches to Determining the Marine Radiocarbon Reservoir Effect. *Progress in Physical Geography* 29, no. 4: 532–547.
- AURA TORTOSA, J.E., J.F. JORDÀ PARDO, P. GARCÍA BORJA, O. GARCÍA PUCHOL, E. BADAL GARCÍA, M. PÉREZ RIPOLL, G. PÉREZ JORDÀ, J.L. PASCUAL BENITO, Y. CARRIÓN MARCO, Y J.V. MORALES PÉREZ. 2013. Una Perspectiva Mediterráneo sobre el Proceso de Neolitización. Los Datos de La Cueva de Nerja en el Contexto de Andalucía (España). *Menga* 04: 53–78.
- AVITAL, E., Y E. JABLONKA. 2000. *Animal Traditions: Behavioural Inheritance in Evolution*. Cambridge: Cambridge University Press.
- AXELROD, R. 1997. Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences. In *Simulating Social Phenomena, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, ed. R. Conte, R. Hegselman, y P. Terna, 21–40. Berlin: Springer-Verlag.
- . 2006. Agent-Based Modeling as a Bridge Between Disciplines. In *Handbook of Computational Economics: Agent-Based Computational Economics*, ed. L. Tesfatsion y K.L. Judd. Vol. 2. Philadelphia: Elsevier.
- AXELROD, R., Y L. TEFATSION. 2006. *A Guide for Newcomers to Agent-Based Modeling in the Social Sciences*. Staff General Research Papers. Iowa State University, Department of Economics.
- AXTELL, R. 2000. Why Agents? On the Varied Motivations for Agent Computing in the Social Science. In *Proceedings of the Workshop on Agent Simulation: Applications, Models and Tools*, ed. C.M. Macal y D. Sallach, 3–24. Argonne, Illinois: Argonne National Laboratory.
- AYALA, F. 2006a. La Evolución del Darwinismo. En *La Evolución de un Evolucionista*, ed. A. Latorre y A. Moya, 269–294. Col·lecció Honoris Causa. Valencia: Universitat de València.
- . 2006b. ¿Es Necesaria una Nueva Síntesis Evolutiva? En *La Evolución de un Evolucionista*, ed. A. Latorre y A. Moya, 255–268. Col·lecció Honoris Causa. Valencia: Universitat de València.
- BAMFORTH, D.B., Y B. GRUND. 2012. Radiocarbon Calibration Curves, Summed Probability Distributions, and Early Paleoindian Population Trends in North America. *Journal of Archaeological Science* 39, no. 6: 1768–1774.
- BARABÁSI, A.-L. 2012. The Network Takeover. *Nature Physics* 8, no. 1: 14–16.
- BARABÁSI, A.-L. 2005. Network Theory: the Emergence of the Creative Enterprise. *Science* 308, no. 5722: 639–641.
- BARTON, C.M. 1997. Preface. In *Rediscovering Darwin: Evolutionary Theory and Archeological Explanation*, ed.

- C.M. Barton y G.A. Clark, III-V. Arlington, Virginia: American anthropological Association.
- BARTON, C.M. 2013a. Complexity, Social Complexity, and Modeling. *Journal of Archaeological Method and Theory*: 1–19.
- BARTON, C.M. 2013b. Stories of the Past or Science of the Future? Archaeology and Computational Social Science. In *Computational Approaches to Archaeological Spaces*, ed. A. Bevan y M.W. Lake, 151–178. Walnut Creek: Left Coast Press.
- BARTON, C.M., y J. RIEL-SALVATORE. 2012. Agents of Change: Modeling Biocultural Evolution in Upper Pleistocene Western Eurasia. *Advances in Complex Systems*: 1150003 (1–24).
- BARTON, C.M., I.I. ULLAH, y S.M. BERGIN. 2010. Land Use, Water and Mediterranean Landscapes: Modelling Long-Term Dynamics of Complex Socio-Ecological Systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 368, no. 1931: 5275–5297.
- BARTON, C.M., I.I. ULLAH, S.M. BERGIN, H. MITASOVA, y H. SARJOUGHIAN. 2012. Looking for the Future in the Past: Long-Term Change in Socioecological Systems. *Ecological Modelling: Modeling Across Millennia: Interdisciplinary Paths to Ancient Socio-Ecological Systems* 241: 42–53.
- BARTON, N.H. 2000. Genetic Hitchhiking. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 355, no. 1403: 1553–1562.
- BATTY, M. 2012. A Generic Framework for Computational Spatial Modelling. En *Agent-Based Models of Geographical Systems*, ed. A.J. Heppenstall, A.T. Crooks, L.M. See, y M. Batty, 19–50. New Jersey: Springer.
- BAYLISS, A., C. BRONK RAMSEY, J. VAN DER PLICHT, y A. WHITTLE. 2007. Bradshaw and Bayes: Towards a Timetable for the Neolithic. 17: 1–28.
- BEAUME, S.A. DE. 2009. The Emergence of Cognitive Abilities: The Contribution of Neuropsychology to Archaeology. En *Cognitive Archaeology and Human Evolution*, ed. S.A. De Beaume, F.L. Coolidge, y T. Wynn, 1–2. Cambridge: Cambridge University Press.
- BEEKMAN, C.S., y W.W. BADEN. 2005. Continuing the Revolution. In *Nonlinear Models for Archaeology and Anthropology: Continuing the Revolution*, 1–15. Aldershot: Ashgate Press.
- BEJA-PEREIRA, A., D. CARAMELLI, C. LALUEZA-FOX, C. VERNESI, N. FERRAND, A. CASOLI, F. GOYACHE, ET AL. 2006. The Origin of European Cattle: Evidence from Modern and Ancient DNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, no. 21: 8113–8118.
- BELL, J. 1987. Simulation Modeling in Archaeology: Reflections and Trends. *European Journal of Operational Research* 30, no. 3: 243–245.
- BELLVER, J.A., y A. BRAVO. 2003. Una Estación Neolítica al Aire Libre en las Islas Chafarinas: El Zafrín. Primera Datación Radiocarbónica. *Akros: La Revista Del Museo* 2: 79–85.
- BENNET, G. 2011. Phantom Hitchhikers and Bad Deaths. *Traditions Today* 1: 3–18.
- BENTLEY, R.A. 2003. An Introduction to Complex Systems. En *Complex Systems and Archaeology: Empirical and Theoretical Applications*, ed. R.A. Bentley y H.D.G. Maschner, 9–23. Foundations of Archaeological Inquiry. Salt Lake City: University of Utah Press.
- . 2008. Random Drift versus Selection in Academic Vocabulary: An Evolutionary Analysis of Published

Keywords. *PLoS ONE* 3(8): e3057.

———. 2011. “Style versus Function” 30 Years On. En *Evolutionary and Interpretive Archaeologies: A Dialogue*, ed. E. Cochrane y A. Gardner, 83–104. Walnut Creek: Left Coast Press.

BENTLEY, R.A., Y H.D.G. MASCHNER. 2003a. Preface: Considering Complexity Theory in Archaeology. En *Complex Systems and Archaeology: Empirical and Theoretical Applications*, ed. R.A. Bentley y H.D.G. Maschner, 1–8. Foundations of Archaeological Inquiry. Salt Lake City: University of Utah Press.

———. 2003b. *Complex Systems and Archaeology: Empirical and Theoretical Applications*. Foundations of Archaeological Inquiry. Salt Lake City: University of Utah Press.

———. 2008. Complexity Theory. In *Handbook of Archaeological Theories*, ed. R.A. Bentley, H.D.G. Maschner, y C. Chippindale, 245–270. Lanham: Altamira Press.

BENTLEY, R.A., P. ORMEROD, Y M. BATTY. 2011. Evolving Social Influence in Large Populations. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 65, no. 3: 537–546.

BERGER, J.-F., Y J. GUILAINE. 2009. The 8200 Cal BP Abrupt Environmental Change and the Neolithic Transition: A Mediterranean Perspective. *Quaternary International* 200, no. 1–2: 31–49.

BERNABEU, J. 1989. *La Tradición Cultural de las Cerámicas Impresas en la Zona Oriental de la Península Ibérica*. Vol. 86. Trabajos Varios del SIP. Valencia: Diputación de Valencia.

———. 1996. Indigenismo Y Migracionismo: Aspectos de la Neolitización en la Fachada Oriental de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistoria* 53, no. 2: 37–54.

———. 2006. Una Visión Actual sobre el Origen y difusión del Neolítico en la Península Ibérica. En *8.000 Años de Ocupación Humana en la Cabecera del Río de Alcoi*, ed. O. García Puchol y J.E. Aura Tortosa, 189–211. Alcoi: Museu d’Alcoi.

BERNABEU, J., C.M. BARTON, S. PARDO GORDÓ, Y S.M. BERGIN. 2015. Modeling Initial Neolithic Dispersal. The First Agricultural Groups on West Mediterranean. *Ecological Modeling* 307: 22–31.

BERNABEU, J., M. BARTON, Y M. PEREZ RIPOLL. 2001. A Taphonomic Perspective on Neolithic Beginnings: Theory, Interpretation, and Empirical Data in the Western Mediterranean. *Journal of Archaeological Science* 28, no. 6: 597–612.

BERNABEU, J., P. GARCÍA BORJA, O. GÓMEZ PÉREZ, Y L. MOLINA. 2011. El Componente Decorativo en las Producciones Cerámicas. *Saguntum: Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia* no. 12: 17–33.

BERNABEU, J., O. GARCÍA PUCHOL, S. PARDO GORDÓ, C.M. BARTON, Y S.B. MCCLURE. 2014. Socioecological Dynamics at the Time of Neolithic Transition in Iberia. *Environmental Archaeology: The Journal of Human Palaeoecology* 19, no. 3: 214–225.

BERNABEU, J., C. MANEN, Y S. PARDO GORDÓ. EN PRENSA. Spatial and Temporal Diversity during the Neolithic Spread in the Western Mediterranean. The First Pottery Productions. En *Times of Neolithic Transition along the Western Mediterranean*, ed. O. García Puchol y D.C. Salazar García. Fundamental Issues in Archaeology. Springer.

BERNABEU, J., R. MARTÍNEZ VALLE, Y M. PÉREZ RIPOLL. 1999. Huesos, Neolitización y Contextos Arqueológicos Aparentes. Ed. Joan Bernabeu y Teresa Orozco. *Saguntum: Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. Extra 2. II Congreso de Neolítico Peninsular: 589–596.

- BERNABEU, J., Y B. MARTÍ OLIVER. 2014. The First Agricultural Groups in the Iberian Peninsula. En *Transitions in Mediterranean How Hunters Became Farmers*, ed. J. Guilaine, C. Manen, y T. Perrin, 419–438. Toulouse.
- BERNABEU, J., L. MOLINA, M.A. ESQUEMBRE BEBIA, J. RAMÓN, Y J. DE D. BORONAT SOLER. 2009. La Cerámica Impresa Mediterránea en el Origen del Neolítico de la Península Ibérica. En *De Méditerranée et d'ailleurs...Mélanges Offerts À Jean Guilaine*, 83–95. Toulouse: Archives d'Écologie Préhistorique.
- BERNABEU, J., A. MORENO, Y C.M. BARTON. 2012. Complex Systems, Social Networks, and the Evolution of Social Complexity in the East of Spain from the Neolithic to Pre-Roman Times. En *The Prehistory of Iberia: Debating Early Social Stratification and the State*, ed. M.C. Berrocal, L. García Sanjuán, y A. Gilman Guillén, 53–73. New York: Routledge.
- BERNABEU, J., M., ROJO Y L. MOLINA., EDS. 2011. Las Primeras Producciones Cerámicas: El VI Milenio Cal Ac En La Península Ibérica. *Saguntum: Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia* no. Extra 12.
- BERNABÓ BREA, L. 1946. *Gli Scavi nella Caverna delle Arene Candide (Finale Ligure). Vol I: Gli Strati Con Ceramiche*. Collezione Di Monografie Preistoriche Ed Archeologiche. Bordighera: Instituto Internazionale di Studi Liguri.
- . 1950. Il Neolitico a Ceramica Impresa e la sua Diffusione nel Mediterraneo. *Rivista di Studi Liguri* 1-3: 25–36.
- . 1956. *Gli Scavi nella Caverna delle Arene Candide (Finale Ligure). Vol II: Campagne Di Scavo 1948-50*. Collezione Di Monografie Preistoriche Ed Archeologiche. Bordighera: Instituto Internazionale di Studi Liguri.
- BERTALANFFY, L. VON. 1951. General System Theory, A new Approach to Unity of Science. *Human Biology* 23, no. 4: 303–361.
- BETTINGER, R.L., R. BOYD, Y P.J. RICHERSON. 1996. Style, Function and Cultural Evolutionary Process. En *Darwinian Archaeology*, ed. H.D.G. Maschner, 133–164. New York: Plenum Press.
- BEVAN, A., Y J. CONOLLY. 2004. GIS and Archaeological Survey Data: Four Case Studies in Landscape Archaeology from the Island of Kythera (Greece). *Journal of Field Archaeology* 29, no. 1-2: 123–128.
- BILLINGHAM, J., Y B. M. OLIVER. 1973. *Project Cyclops: A Design Study of a System for Detecting Extraterrestrial Intelligent Life*. Washington, DC: NASA.
- BINDER, D. 1995. Eléments Pour la Chronologie du Néolithique Ancien à Céramique Imprimée dans le Midi. En *Chronologies Néolithiques: De 6000 À 2000 ans avant Notre ère dans le Bassin Rhodanien*, ed. J.L. Voruz, 55–65. Ambérieu-en-Bugey: Société préhistorique rhodanienne.
- BINDER, D., Y R. MAGGI. 2001. Le Néolithique Ancien de L'arc Liguro-Provençal. *Bulletin de La Société Préhistorique Française* 98, no. 3: 411–422.
- BINFORD, L. 1962. Archaeology as Anthropology. *American Antiquity* 28, no. 2: 217–225.
- BOCQUET-APPEL, J.-P., S. NAJI, M.VANDER LINDEN, Y J.K. KOZLOWSKI. 2009. Detection of Diffusion and Contact Zones of Early Farming in Europe from the Space-Time Distribution of ¹⁴C Dates. *Journal of Archaeological Science* 36, no. 3: 807–820.
- BOEKHORST, I.J., Y C.K. HEMELRIJK. 2000. Nonlinear and Synthetic Models for Primate Societies. En *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent-Based Modelling of Social and Spatial Processes*, ed. T.A. Kohler y G.J.

- Gumerman, 19–44. *Studies in the Sciences of Complexity*. Oxford: Oxford University Press.
- BOGUCKI, P. 1996. The Spread of Early Farming in Europe. *American Scientist* 84: 242–253.
- BONABEAU, E. 2002. Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99, no. suppl 3: 7280–7287.
- BONET, A. 2008. *Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales Métodos de Aplicación*. Madrid: Dykinson.
- BONFIGLIO, S., C. GINJA, A. DE GAETANO, A. ACHILLI, A. OLIVIERI, L. COLLI, K. TESFAYE, ET AL. 2012. Origin and Spread of *Bos Taurus*: New Clues from Mitochondrial Genomes Belonging to Haplogroup T1. *PLoS ONE* 7, no. 6: e38601.
- BOONE, J.L., Y E.A. SMITH. 1998. Is It Evolution yet?: A Critique of Evolutionary Archaeology. *Current Anthropology* 39: 141–173.
- BOSCH GIMPERA, P. 1932. *Etnología de la Península Ibérica*. Barcelona: Alpha.
- LE BOURDONNEC, F.-X., G. POUPEAU, S. MULAZZANI, Y L. BELHOUCHE. 2013. Origine de L'obsidienne Des Sites SHM-1 et SHM-12 (Hergla, Tunisie). En *Le Capsien de Hergla (Tunisie) Culture, Environnement et Économie*, ed. S. Mulazzani, 240–244. African Archaeology 4. Frankfurt: Africa Magna Verlag.
- BOUZOUGGAR, A. 2006. Le Néolithique de La Région de Tanger-Tétouan: Contribution de la Technologie Lithique. En *Actas Del I Seminario Hispano-Marroquí de Especialización En Arqueología*, ed. D. Bernal Casasola, B. Rais-souni, J. Ramos, y A. Bouzouggar, 133–142. Cadiz: Universidad de Cadiz.
- BOYD, R., Y P.J. RICHERSON. 1982. Cultural Transmission and the Evolution of Cooperative Behavior. *Human Ecology* 10, no. 3: 325–351.
- . 1985. *Culture and the Evolutionary Process*. Chicago: University of Chicago Press.
- . 2005. *The Origin and Evolution of Culture*. New York: Oxford University Press.
- BOYD, R., P.J. RICHERSON, Y J. HENRICH. 2011. The Cultural Niche: Why Social Learning Is Essential for Human Adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, no. Supplement 2: 10918–10925.
- BOYD, R., Y J.B. SILK. 2004. *Cómo Evolucionaron Los Humanos*. Barcelona: Ariel Ciencia.
- BOYER, P. 1994. *The Naturalness of Religious Ideas: A Cognitive Theory of Religion*. Berkeley: University of California Press.
- BRANDAGLIA, M. 1991. Il Neolitico a Ceramica Impressa dell Isola Del Giglio. *Studi per l'ecologia del Quaternario* 13: 43–104.
- BRIOS, F., Y C. MANEN. 2009. L'habitat Néolithique Ancien de Peiro Signado à Portiragnes (Hérault). En *De Méditerranée et d'ailleurs...Mélanges Offerts À Jean Guilaine*, 31–37. Toulouse: Archives d'Écologie Préhistorique.
- BRONK RAMSEY, C. 2009. Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates. *Radiocarbon* 51: 337–360.
- BUILDER, C., Y S. BANKES. 1991. *Artificial Societies: A Concept of Basic Research on the Societal Impacts of Information Technology*. Santa Mónica, California: RAND Corporation.
- BUSS, D.M. 1995. Evolutionary Psychology: A New Paradigm for Psychological Science. *Psychological Inquiry* 6, no. 1: 1–30.
- CACHO, I., B. VALERO, Y P. GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ. 2010. Review of Paleoclimate Reconstructions in the Iberian Pen-

- insula since the Last Glacial Period. En *Regional Climate Change Assessment Report*, ed. F. Pérez y R. Bóscolo, 9–24. Madrid: CLIVAR.
- CALVO TRIAS, V.M., V.M. GUERRERO AYUSO, Y B. SALVÀ SIMONET. 2002. Los Orígenes del Poblamiento Balear. Una Discusión no Acabada. *Complutum* 13: 159–191.
- CAMPS, G. 1974. *Les Civilisations Préhistoriques de l’Afrique du Nord et du Sahara*. Paris: CNRS.
- CANDIA, R., Y G. CAIOZZI. 2005. Intervalos de Confianza. *Revista Médica de Chile* 133: 1111–1115.
- CARLEY, K.M., Y L. GASSER. 1999. Computational Organization Theory. En *Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, ed. G. Weiss, 299–330. Cambridge: MIT Press.
- CARMINES, E., Y R. ZELLER. 1979. *Reliability and Validity Assessment*. London: SAGE.
- CARVALHO, A.F. 2003. A Estação do Neolítico Antigo de Cabranosa (Sagres). Contribuição para O Estudo da Neolitização do Algarve. En *Muita Gente, Poucas Antas? Orígens, Espaços E Contextos Do Megalitismo. Actas Do II Colóquio Internacional Sobre Megalitismo*, ed. V.S. Gonçalves, 25:23–43. Trabalhos de Arqueologia. Lisboa: Instituto Português de Arqueologia.
- . 2008. *A Neolitização do Portugal Meridional: Os Exemplos do Maciço Calcário Estremenho e do Algarve Ocidental*. Vol. 12. Promontoria Monográfica. Faro: Universidade do Algarve.
- . 2010. Le Passage Vers l’Atlantique: Le Processus de Néolithisation en Algarve (sud Du Portugal). *L’Anthropologie* 114: 141–178.
- CASSANO, S.M., Y A. MANFREDINI. 2005. *Masseria Candelaro. Vita Quotidiana e Mondo Ideologico in Un Villaggio Neolitico Sul Tavoliere*. Foggia: Grenzi.
- CASTELLANO, S., Y E. BALLETO. 2002. Is the Partial Mantel Test Inadequate? *Evolution* 56(9): 1871–1873.
- CAVALLI-SFORZA, L.L., Y M.W. FELDMAN. 1973. Cultural versus Biological Inheritance: Phenotypic Transmission from Parents to Children (A Theory of the Effect of Parental Phenotypes on Children’s Phenotypes). *American Journal of Human Genetics* 25: 618–637.
- . 1981. *Cultural Transmission and Evolution: A Quantitative Approach*. Princeton–New Jersey: Princeton University Press.
- CEGIELSKI, W. EN PRENSA. Why Might Chiefdoms Cycle? A Networked, Agent-Based Model of Structural Elasticity, Wealth and Power Thresholds. *Current Anthropology*
- CENTOLA, D. 2011. An Experimental Study of Homophily in the Adoption of Health Behavior. *Science* 334: 1269–1272.
- CENTOLA, D., J.C. GONZÁLEZ-AVELLA, V.M. EGUÍLUZ, Y M. SAN MIGUEL. 2007. Homophily, Cultural Drift, and the Co-Evolution of Cultural Groups. *Journal of Conflict Resolution* 51, no. 6: 905–929.
- CESARI, J., P. COURTAUD, F. LEANDRI, T. PERRIN, Y C. MANEN. 2014. Le Site de Campu Stefanu (Sollacaro, Corse-Du-Sud) : Une Occupation du Néolithique Ancien et du Mésolithique Dans Le Contexte Corso-Sarde. In *La Transition Néolithique En Méditerranée*, ed. C. Manen, T. Perrin, y J. Guilaine, 283–305. Paris: Errance & Archives d’écologie préhistorique.
- CHAPMAN, R. 2003. *Archaeologies of Complexity*. Londres: Routledge.
- . 2007. Evolution, Complexity and the State. En *Socialising Complexity. Structure, Interaction and Power*

- in Social Discourse*, ed. S. Kohring y S. Wynne-Jones, 13–28. Oxford: Oxbow Books.
- CHERNOFF, M., V. PLITMANN, Y M.E. KISLEV. 1992. Seed Characters and Teste Texture in Species of the Viciaeae: Their Taxonomic Significance. *Israel Journal of Botany* 41: 167–186.
- CHILDE, G.V. 1925. *The Dawn of European Civilisation*. Londres: Kegan Paul.
- CILLIERS, P. 1998. *Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems*. Londres: Routledge.
- CIOFFI-REVILLA, C., S. LUKE, D. PARKER, J.D. ROGERS, W. FITZHUGH, W. HONEYCHURCH, B. FROHLICH, P. DEPRIEST, Y C. AMARTUVSHIN. 2007. Agent-Based Modeling Simulation of Social Adaptation and Long-Term Change in Inner Asia. En *Advancing Social Simulation: The First World Congress*, ed. S. Takahashi, D. Sallach, y J. Rouchier, 189–200. Tokyo-New York: Springer.
- CLARKE, D.L. 1972. *Models in Achaeology*. London: Methuen.
- CLARK, G. 1965. Radiocarbon Dating and the Expansion of Farming from the Near Est over Europe. *Proceedings of the Prehistoric Society* 31: 58–73.
- CLARK, G.A., Y C.M. BARTON. 1997. Rediscovering Darwin. In *Rediscovering Darwin: Evolutionay Theory and Archeological Explanation*, ed. C.M. Barton y G.A. Clark, 309–319. American Anthropological Association.
- CLIST, B.-O. 1987. A Critical Reappraisal of the Chronological Framework of the Early Iron Age Urewe Industry. *MUNTU* 6: 35–62.
- COHEN, M.H. 1992. Nonlinearity, Disorder, the Spread of the Neolithic Farming and the Origin of the Indo-European Languages. In *Nonlinearity with Disorder*, ed. F. Abdullaev, A.R. Bishop, y S. Pnevmatikos, 161–170. Proceedings in Physics. Berlin: Springer.
- COLELLA, V., E. KLOPFER, Y M. RESNICK. 2001. *Adventures in Modeling: Exploring Complex Dynamic Systems with StarLogo*. Columbia University: Teachers College Press.
- COLLADO GONZÁLEZ, S. 2009. Teoría de la Evolución. In *Philosophica: Enciclopedia Filosófica on Line*, ed. F. Fernández Labastida y J.A. Mercado.
- COLLEDGE, S., Y J. CONOLLY. 2001. Early Neolithic Agriculture in Southwest Asia and Europe: Re-Examining the Archaeobotanical Evidence. *Archaeology International* 5: 44–46.
- , eds. 2007. *The Origins and Spread of Domestic Plants in Southwest Asia and Europe*. London: Left Coast Press.
- CONOLLY, J., S. COLLEDGE, Y S. SHENNAN. 2008. Founder Effect, Drift, and Adaptive Change in Domestic Crop Use in Early Neolithic Europe. *Journal of Archaeological Science* 35, no. 10: 2797–2804.
- COOKE, K.L., Y C. RENFREW. 1979. An Experiment on the Simulation of Culture Change. In *Transformations: Mathematical Approaches to Culture Change*, 327–348. New York: Academic Press.
- CORE TEAM. 2013. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- COROMINAS, J. 1925. *Prehistoria de Montserrat*. Montserrat: Abadia de Montserrat.
- CORTÉS SÁNCHEZ, M., F.J. JIMÉNEZ ESPEJO, M.D. SIMÓN VALLEJO, J.F. GIBAJA BAO, A.F. CARVALHO, F. MARTINEZ-RUIZ, M.R. GAMIZ, ET AL. 2012. The Mesolithic–Neolithic Transition in Southern Iberia. *Quaternary Research* 77, no. 2: 221–234.
- COSTOPOULOS, A. 2010. For a Theory of Archaeological Simulation. En *Simulating Change: Archaeology into the*

- Twenty-First Century*, ed. A. Costopoulos y M. Lake, 21–27. Foundations of Archaeological Inquiry. Salt Lake City: University of Utah Press.
- COSTOPOULOS, A., Y M. LAKE. 2010. *Simulating Change: Archaeology into the Twenty-First Century*. Foundations of Archaeological Inquiry. Salt Lake City: University of Utah Press.
- COSTOPOULOS, A., M. LAKE, Y N. GUPTA. 2010. Introduction. En *Simulating Change: Archaeology into the Twenty-First Century*, ed. A. Costopoulos y M.W. Lake, 1–8. Foundations of Archaeological Inquiry. Salt Lake City: University of Utah Press.
- CREMA, E.R., K. EDINBOROUGH, T. KERIG, Y S. SHENNAN. 2014. An Approximate Bayesian Computation Approach for Inferring Patterns of Cultural Evolutionary Change. *Journal of Archaeological Science* 50: 160–170.
- CREMA, E.R., T. KERIG, Y S. SHENNAN. 2014. Culture, Space, and Metapopulation: A Simulation-Based Study for Evaluating Signals of Blending and Branching. *Journal of Archaeological Science* 43: 289–298.
- CROMBÉ, P., Y E. ROBINSON. 2014. 14C Dates as Demographic Proxies in Neolithisation Models of Northwestern Europe: A Critical Assessment Using Belgium and Northeast France as a Case-Study. *Journal of Archaeological Science* 52: 558–566
- CROMBÉ, P., J. SERGANT, Y J. DE REU. 2013. La Contribution des Dates Radiocarbone pour Démêler les Palimpsestes Mésolithiques: Exemples Provenant de la Région des Sables de Couverture en Belgique Du Nord-Ouest. En *Palétothographie Du Mésolithique Recherches Sur Les Habitats de Plein Aire Entre Loire et Neckar. Actes de La Table Ronde Internationale de Paris 26 et 27 Novembre 2010*, ed. B. Valentin, B. Souffi, T. Ducrocq, J.-P. Fagnart, F. Séara, y C. Verjux, 235–249. Paris: Société préhistorique française.
- CROOKS, A.T., Y A.J. HEPPENSTALL. 2012. Introduction to Agent-Based Modelling. En *Agent-Based Models of Geographical Systems*, ed. A.J. Heppenstall, A.T. Crooks, L.M. See, y M. Batty, 85–105. New York: Springer.
- CRUCIANI, F., R. FRATTA LA, P. SANTOLAMAZZA, D. SELMITTO, R. PASCONE, P. MORAL, E. WATSON, ET AL. 2004. Phylogeographic Analysis of Haplogroup E3b (EM215) Y Chromosomes Reveals Multiple Migratory Events Within and Out Of Africa. *American Journal of Human Genetics* 74, no. 5: 1014–1022.
- CRUZ BERROCAL, M. 2012. The Early Neolithic in the Iberian Peninsula and the Western Mediterranean: A Review of the Evidence on Migration. *Journal of World Prehistory* 25, no. 3-4: 123–156.
- DAVISON, K., P. DOLUKHANOV, G.R. SARSON, Y A. SHUKUROV. 2006. The Role of Waterways in the Spread of the Neolithic. *Journal of Archaeological Science* 33: 641–652.
- DAVISON, K., P. DOLUKHANOV, G.R. SARSON, A. SHUKUROV, Y G.I. ZAITSEVA. 2007. A Pan-European Model of the Neolithic. *Documenta Praehistorica* XXXIV: 139–154.
- . 2009a. Multiple Sources of the European Neolithic: Mathematical Modelling Constrained by Radiocarbon Dates. *Quaternary International* 203: 10–18.
- . 2009b. Multiple Sources of the European Neolithic: Mathematical Modelling Constrained by Radiocarbon Dates. En *The East European Plain on the Eve of Agriculture*, ed. P. Dolukhanov, G.R. Sarson, y A. Shukurov, 197–210. Oxford: BAR International Series 1964.
- DAWKINS, R. 1993. *El Gen Egoísta: Las Bases Biológicas de Nuestra Conducta*. Barcelona: Salvat.
- DEBOER, W.R., K. KINTIGH, Y A.G. ROSTOKER. 1996. Ceramic Seriation and Site Reoccupation in Lowland South

- America. *Latin American Antiquity* 7, no. 3: 263–278.
- DENNING, P.J., D.E. COMER, D. GRIES, M.C. MULDER, A. TUCKNER, A.J. TURNER, Y P.R. YOUNG. 1989. Computing as a Discipline. *Communications of the ACM* 32, no. 1: 9–23.
- DEVILLERS, C., Y J. CHALINE. 1989. *La Théorie de l'Évolution. Etat de la Question à la Lumière des Connaissances Scientifiques Actuelles*. Paris: Bordas.
- DÍAZ DEL RÍO ESPAÑOL, P. 2011. The Neolithic Argonauts of the Western Mediterranean and Other Underdetermined Hypotheses of Colonial Encounters. En *Eventful Archaeologies New Approaches to Social Transformation in the Archaeological Record*, ed. D. Bolender, 88–99. New York: Distinguished Monograph Series. Suny Press.
- DIBBLE, C., Y P.G. FELDMAN. 2004. The GeoGraph 3D Computational Laboratory: Network and Terrain Landscapes for RePast. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 7(1). <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/7/1/7.html>.
- DORAN, J.E. 1970. Systems Theory, Computer Simulations, and Archaeology. *World Archaeology* 1: 289–298.
- DORAN, J.E., Y F.R. HODSON. 1975. *Mathematics and Computer in Archaeology*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- DORAN, J.E., M. PALMER, N.G. GILBERT, Y P. MELLARS. 1994. The EOS Project: Modelling Upper Palaeolithic Social Change. En *Simulating Societies: The Computer Simulation of Social Phenomena*, ed. N.G. Gilbert y J.E. Doran, 195–222. London: UCL Press.
- Drogoul, A., D. Vanbergue, y T. Meurisse. 2003. Multi-Agent Based Simulation: Where Are the Agents? En *Multi-Agent-Based Simulation II*, ed. J. Simão Sichman, F. Bousquet, y P. Davidsson, 2581:1–15. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg.
- DUMBRAJS, S. 2012. Intergenerational Cultural Transmission. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 47: 109–113.
- DUNNELL, R. 1978. Style and Function: A Fundamental Dichotomy. *American Antiquity* 43: 192–202.
- . 1980. Evolutionary Theory and Archaeology. *Advances in Archaeological Method and Theory* 3: 35–99.
- . 1992. Archaeology and Evolutionary Science. En *Quandaries and Quests: Visions of Archaeology's Future*, ed. L. Wandsnider, 209–224. Carbondale: Southern Illinois University Press.
- . 1995. What Is It That Actually Envolves? En *Evolutionary Archaeology: Methodological Issues*, ed. P.A. Teltser, 33–50. Tucson: Arizona University Press.
- EDMONDS, B. 2001. The Use of Models-Making MABS Actually Work. En *Multi-Agent-Based Simulation, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1979*, ed. S. Moss and P. Davidsson, 15–32. Berlin: Springer-Verlag.
- EDMONDS, B., Y N. WALLIS. 2003. Towards an Ideal Social Simulation Language. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-Agent-Based Simulation II*, ed. J.S. Sichman, F. Bousquet, y P. Davidsson, 105–124. MABS'02. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- EERKENS, J.W., Y C.P. LIPO. 2007. Cultural Transmission Theory and the Archaeological Record: Providing Context to Understanding Variation and Temporal Changes in Material Culture. *Journal of Archaeological Research* 15, no. 3: 239–274.
- EL IDRISSE, A. 2000. Neolitique Ancien Du Maroc Septentrional Dans Son Contexte Regional. Rabat: Institut National des Sciences de l'Archeologie et du patrimoine.

- EPSTEIN, J. 1999. Agent-Based Computational Models and Generative Social Science. *Complexity* 4, no. 5: 41–60.
- . 2008. Why Model? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 11, no. 4: 12.
- EPSTEIN, J., Y R. AXTELL. 1997. Artificial Societies and Generative Social Science. *Artificial Life and Robotics* 1, no. 1: 33–34.
- . 1996. *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Complex Adaptive Systems. Washington, DC: Brookings Institution Press.
- ESCALON DE FONTON, M. 1968. *Préhistoire de La Basse-Provence Occidentale*. Martigues: Office du Tourisme.
- FEIGENBAUM, M.J. 1980. Universal Behavior in Nonlinear Systems. *Los Alamos Science* no. 1: 4–27.
- FERNÁNDEZ, E., A. PÉREZ-PÉREZ, C. GAMBA, E. PRATS, P. CUESTA, J. ANFRUNS, M. MOLIST, E. ARROYO-PARDO, Y D. TURBÓN. 2014. Ancient DNA Analysis of 8000 B.C. Near Eastern Farmers Supports an Early Neolithic Pioneer Maritime Colonization of Mainland Europe through Cyprus and the Aegean Islands. *PLoS Genet* 10, no. 6: e1004401.
- FERNÁNDEZ ERASO, J. 2011. Las Cerámicas Neolíticas de La Rioja Alavesa en su Contexto: Los Casos de Peña Larga y Los Husos I y II. *Saguntum: Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia* no. 12: 117–129.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ DE PABLO, J., Y C.M. BARTON. 2013. Bayesian Estimation Dating of Lithic Surface Collections. *Journal of Archaeological Method and Theory*: 1–25.
- FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, V.M. 2001. La Idea de África e el Origen de la Prehistoria Española: Una Perspectiva Post-colonial. *Complutum* 12: 167–184.
- FERNÁNDEZ-MIRANDA, M., Y A. MOURE ROMANILLO. 1975. El Abrigo de Verdelpino (Cuenca). Un Nuevo Yacimiento Neolítico en el Interior de la Península Iberica. *Noticiario Arqueológico Hispánico* III: 189–235.
- FIORENTINO, G., M. CALDARA, V. DE SANTIS, C. D'ORONZO, I.M. MUNTONI, O. SIMONE, M. PRIMAVERA, Y F. RADINA. 2013. Climate Changes and Human–environment Interactions in the Apulia Region of Southeastern Italy during the Neolithic Period. *The Holocene*.
- FISCHER, R.A. 1937. The Wave of Advance of Advantageous Genes. *Annals of Eugenics* 7, no. 4: 355–369.
- FISHWICK, P.A. 1995. *Simulation Model Design and Execution. Building Digital Worlds*. New Jersey: Prentice Hall.
- FLANNERY, K.V. 1973. Archaeology with a Capital S. En *Research and Theory in Current Archaeology*, ed. C. Redman, 47–52. New York: John Wiley & Sons.
- FLETCHER, D. 1953. Avances y Problemas de la Prehistoria Valenciana en los Últimos Veinticinco Años. *Anales del Centro de Cultura Valenciana* XIV, no. 31: 8–36.
- . 1956. La Doble Faceta del Neolítico Hispano-Mauritano en la Región Valenciana. En *IV Congreso Internacional de Ciencias Prehistóricas y Protohistóricas (Madrid, 1954)*, 415–417. Zaragoza: Librería general.
- FLETCHER, R. 1987. *Practical Methods of Optimization; (2Nd Ed.)*. New York: Wiley-Interscience.
- FLORS UREÑA, E., Y D. SANFELIU LOZANO. 2011. La Cerámica Neolítica de Costamar (Cabanes, Castellón). *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valencia* no. 12: 187–200.
- FORREST, S., Y T. JONES. 1994. Modeling Complex Adaptive Systems with Echo. En *Complex Systems: Mechanisms of Adaptation*, ed. R. Stonier y X. Yu, 3–21. Amsterdam: IOS Press.

- FORTEA PÉREZ, J. 1973. *Los Complejos Microlaminares y Geométricos del Epipaleolítico Mediterráneo Español*. Memorias del Seminario de Prehistoria y Arqueología 4. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- FORT, J. 2009. Mathematical Modeling of the Neolithic Transition: A Review for Non-Mathematicians. In *The East European Plain on the Eve of Agriculture*, ed. P. Dolukhanov, G.R. Sarson, y A. Shukurov, 211–216. Oxford: BAR International Series 1964.
- . 2012. Synthesis between Demic and Cultural Diffusion in the Neolithic Transition in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, no. 46: 18669–18673.
- FORT, J., y V. MÉNDEZ. 1999a. Reaction Diffusion Waves of Advance in the Transition to Agricultural Economics. *Physical Review E* 60, no. 5: 5894–5901.
- . 1999b. Time-Delayed Theory of the Neolithic Transition in Europe. *Physical Review Letters* 82, no. 4: 867–870.
- FORT, J., T. PUJOL, y M. VANDER LINDEN. 2012. Modeling the Neolithic Transition in the near East and Europe. *American Antiquity* 77, no. 2: 203–219.
- FOURNIER, E. 1897. Les Cavernes Des Environs de Marseille. *Mémoires de La Société de Spéléologie* 1, no. 9: 223–299.
- FRANCFORT, H.-P. 1997. Archaeological Interpretation and Non-Linear Dynamic Modelling: Between Metaphor and Simulation. En *Time, Process and Structured Transformation in Archaeology*, ed. S. van der Leeuw y J. McGlade, 151–175. London: Routledge.
- FRANKLIN, S., y A. GRAESSER. 1997. Is It an Agent, or Just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents. En *Intelligent Agents III Agent Theories, Architectures, and Languages*, ed. J. Müller, M. Wooldridge, y N. Jennings, 1193:21–35. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg.
- FRANZ, M., y C.L. NUNN. 2009. Network-Based Diffusion Analysis: A New Method for Detecting Social Learning. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276: 1829–1836.
- FUGAZZOLA, M. A., A PESSINA, y V TINÉ, EDS. 2002. *Le Ceramiche Impresse nel Neolitico Antico. Italia e Mediterraneo*. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- GABRIELI, M., y G. BOSCHIAN. 2009. Neolithic Pottery from Pianosa Island (Tyrrhenian Sea); Preliminary Provenance Data. *The Old Potter's Almanack* 14(1): 8–14.
- GAMBLE, C., W. DAVIES, P. PETTITT, L. HAZELWOOD, y M. RICHARDS. 2005. The Archaeological and Genetic Foundations of the European Population during the Late Glacial: Implications for. *Cambridge Archaeological Journal* 15, no. 2: 193–223.
- GARCÍA ATIENZAR, G. 2010. Las Comarcas Centromeridionales Valencianas en el Contexto de la Neolitización de la Fachada Noroccidental del Mediterráneo. *Trabajos de Prehistoria* 67, no. 1: 37–58.
- GARCÍA BORJA, P., J.E. AURA TORTOSA, J.F. JORDÁ PARDO, y D.C. SALAZAR GARCÍA. 2014. La Cerámica Neolítico de La Cueva de Nerja (Málaga, España): Salas del Vestíbulo y la Mina. *Archivo de Prehistoria Levantina* XXX: 81–131.
- GARCÍA, E., y H. CARPINTERO. 2000. La Modularidad de la Mente: Aproximación Multidisciplinar. *Revista de Psicología General y Aplicaciones* 53, no. 4: 609–631.

- GARCÍA PUCHOL, O. 2005. *El Proceso de Neolitización en la Fachada Mediterránea de la Península Ibérica. Tecnología y Tipología de La Piedra Tallada*. Oxford, England: BAR International Series 1430.
- GARCÍA PUCHOL, O., Y D., CARLOS SALAZAR GARCÍA, EDS. EN PRENSA. *Times of Neolithic Transition along the Western Mediterranean*. Fundamental Issues in Archaeology. Springer.
- GARCÍA RIVERO, D. 2010. Introducción a la Teoría de la Clasificación y a las Escuelas Taxonómicas (Fenética, Cladística y Taxonomía Evolutiva). En *Clasificación y Arqueología. Enfoques y Métodos Taxonómicos a La Luz de La Evolución Darwiniana*, ed. J.L. Escacena Carrasco, D. García Rivero, y F.J. García Fernández, 61–94. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- . 2012. Arqueología Evolutiva y Filogenética Cultural. *Complutum* 23, no. 2: 69–92.
- . 2013. *Arqueología Evolutiva y Evolución. A La Búsqueda de Filogénias Culturales*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- GARCÍA RIVERO, D., Y M.J. O'BRIEN. 2014. Phylogenetic Analysis Shows That Neolithic Slate Plaques from the Southwestern Iberian Peninsula Are Not Genealogical Recording Systems. *PLoS ONE* 9, no. 2: e88296.
- GARCÍA-VALDECASAS, J.I. 2011. La Simulación Basada En Agentes: Una Nueva Forma de Explorar Fenómenos Sociales. *Reis* 136: 91–110.
- GARDIN, J.-C. 1990. Interpretation in the Humanities: Some Thoughts on the Third Way. En *Interpretation in the Humanities: Perspectives from Artificial Intelligence*, ed. J.R. Ennals y J.-C. Gardin, 22–59. London: The British Library.
- GASSIN, B., N.F. BICHO, L. BOUBY, R. BUXÓ, A.F. CARVALHO, I. CLEMENTE, J.F. GIBAJA BAO, ET AL. 2010. Variabilité des Techniques de Récolte et Traitement des Céréales dans L'occident Méditerranéen Au Néolithique Ancien et Moyen: Facteurs Environnementaux, Économiques et Sociaux. En *Économie et Société À La Fin de La Préhistoire Actualité de La Recherche. Actes Des 7e Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente Tenues À Bron (Rhône), Les 3 et 4 Novembre 2006*, ed. A. Beeching, É. Thirault, y J. Vital, 19–37. Lyon: Maison de l'Orient et de la Méditerranée.
- GIBAJA BAO, J.F., J.J. IBÁÑEZ ESTÉVEZ, Y J. JUAN CABANILLES. 2010. Análisis Funcional de Piezas con Lustre Neolíticas de la Cova de l'Or (Beniarrés, Alicante) y la Cova de la Sarsa (Bocairent, Valencia). *Archivo de Prehistoria Levantina XVIII*: 91–106.
- GILBERT, N.G., Y S. BANKES. 2002. Platforms and Methods for Agent-Based Modeling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99, no. Suppl 3: 7197–7198.
- GILBERT, N.G. 2008. *Agent-Based Model*. Quantitative Applications in the Social Science 153. London: SAGE.
- GILBERT, N.G., Y K. TROITZSCH. 1999. *Simulation for the Social Scientist*. Buckingham: Open University Press.
- GILBERT, N.G., Y P. TERNA. 2000. How to Build and Use Agent-Based Models in Social Science. *Mind & Society* 1, no. 1: 57–72.
- GILMAN, A. 1975. *A Later Prehistory of Tanger (Morocco)*. American School of Prehistoric Research 29. Cambridge: Museum of archaeology and ethnology, Harvard University.
- GKIASTA, M., T. RUSSELL, S. SHENNAN, Y J. STEELE. 2003. Neolithic Transition in Europe: The Radiocarbon Record Revisited. *Antiquity* 77, no. 295: 45 – 62.

- GONZÁLEZ LENS, D., Y B. MEGGERS. 2009. Coeficiente Brainerd Robinson: ¿Panacea Real o Ilusoria?. Una Revisión de las Bases Utilizadas para Criticar la Seriación como Método para Reconstruir la Reocupación de Sitios en las Tierras Bajas Amazónicas. *International Journal of South American Archaeology* 4.
- GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P., P. UTRILLA, C. MAZO, B. VALERO-GARCÉS, M. SOPENA, M. MORELLÓN, M. SEBASTIÁN, A. MORENO, Y M. MARTÍNEZ-BEA. 2009. Patterns of Human Occupation during the Early Holocene in the Central Ebro Basin (NE Spain) in Response to the 8.2 Ka Climatic Event. *Quaternary Research* 71, no. 2: 121–132.
- GOODREAU, S., M.S. HANDCOCK, D.R. HUNTER, C.T. BUTTS, Y M. MORRIS. 2008. A Statnet Tutorial. *Journal of Statistical Software* 24, no. 1.
- GOULD, S.J. 2004. *La Estructura de la Teoría de la Evolución*. Barcelona: Tusquets Editores.
- GRIMM, V., U. BERGER, F. BASTIANSEN, S. ELIASSEN, V. GINOT, J. GISKE, J. GOSS-CUSTARD, ET AL. 2006. A Standard Protocol for Describing Individual-Based and Agent-Based Models. *Ecological Modelling* 198, no. 1–2: 115–126.
- GRIMM, V., U. BERGER, D.L. DEANGELIS, J.G. POLHILL, J. GISKE, Y S.F. RAILSBACK. 2010. The ODD Protocol: A Review and First Update. *Ecological Modelling* 221, no. 23: 2760–2768.
- GRIMM, V., Y S.F. RAILSBACK. 2012. Designing, Formulating and Communicating Agent-Based Models. En *Agent-Based Models of Geographical Systems*, ed. A.J. Heppenstall, A.T. Crooks, L.M. See, y M. Batty, 361–377. New York: Springer.
- GRONENBORN, D. 2007a. Climate Change and Socio-Political Crises: Some Cases from Neolithic Central Europe. En *War and Sacrifice. Studies in the Archaeology of Conflict*, ed. T. Pollard y I. Banks, 13–32. Leiden-Boston: Brill.
- . 2007b. Beyond the Models: ‘Neolithisation’ in Central Europe. In *Going Over: The Mesolithic-Neolithic Transition in North-West Europe*, ed. A. Whittle y V. Cummings, 73–98. Oxford: Proceedings of British Academy.
- . 2009. Climate Fluctuations and Trajectories to Complexity in the Neolithic towards a Theory. *Documenta Praehistorica* XXXVI: 97–110.
- . 2010. Climate, Crises, and the Neolithisation of Central Europe between IRD-Events 6 and 4. En *The Spread of the Neolithic to Central Europe. International Symposium, Mainz 24 June – 26 June 2005*, ed. D. Gronenborn y J. Petrasch, 61–81. Mainz: Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseums.
- GUERRERO AYUSO, V.M., Y V.M. CALVO TRIAS. 2008. Resolviendo Incertidumbres. Nuevos Datos sobre las Primeras Ocupaciones Humanas de Las Baleares. En *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006*, ed. M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz, y J.A. López Padilla, 2:331–339. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.
- GUGLIELMINO, C.R., C. VIGANOTTI, B. HEWLETT, Y L.L. CAVALLI-SFORZA. 1995. Cultural Variation in Africa: Role of Mechanismo of Transmission and Adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 92: 7578–7579.
- GUILAINE, J. 1976a. *Premiers Bergers et Paysans de l’Occident Méditerranéen*. Paris: Mouton.
- . 1976b. La Neolitización de las Costas Mediterráneas de Francia y España. *Cuadernos de Prehistoria Y Arqueología Castellonenses* 3: 39–50.
- . 1994. *La Mer Partagée: La Méditerranée Avant L’écriture, 7000-2000 Avant Jésus-Christ*. Paris: Hachette.
- . 2000. De l’Orient a l’Occident: La Neolithisation de la Méditerranée. Questions Ouvertes. En *La Neolithi-*

- zazione Tra Oriente e Occidente, *Atti Del Convegno*, ed. A. Pessina y G. Muscio, 11–21. Udine: Museo Friulano di Storia Naturale.
- . 2001. La Diffusion de l'Agriculture en Europe: Une Hypothèse Arythmique. *Zephyrus* 53-54: 267–272.
- . 2014. Transitions en Méditerranée ou Comment des Chasseurs Devinsent Agrculteurs. En *La Transition Néolithique En Méditerranée*, ed. C. Manen, T. Perrin, y J. Guilaine, 9–10. Paris: Errance & Archives d'écologie préhistorique.
- GUILAINE, J., Y C. MANEN. 2002. La Ceramica Impressa della Francia Meridionale. En *Le Ceramiche Impresse Nel Neolitico Antico. Italia E Mediterraneo*, ed. M.A. Fugazzola, A. Pessina, y V. Tiné, 373–395. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- . 2007. From Mesolithic to Early Neolithic in the Western Mediterranean. En *Going Over: The Mesolithic-Neolithic Transition in North-West Europe*, ed. A. Whittle y V. Cummings, 21 – 51. Oxford: Proceedings of British Academy.
- GUILAINE, J., C. MANEN, Y J.-D. VIGNE. 2007. *Pont de Roque-Haute. Nouveaux Regards Sur La Néolithisation de La France Méditerranéenne*. Toulouse: Centre d'Anthropologie.
- GUTIÉRREZ POZO, G. 2010. Evolución Biológica. En *Clasificación Y Arqueología. Enfoques Y Métodos Taxonómicos a La Luz de La Evolución Darwiniana*, ed. J.L. Escacena Carrasco, D. García Rivero, y F.J. García Fernández, 15–31. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- HAKEN, H. 2008. Self-Organization. *Scholarpedia* 3, no. 8: 1401.
- HALFFTER, G., Y C.E. MORENO. 2005. Significado Biológico de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma. En *Sobre Diversidad Biológica: El Significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma.*, ed. G. Halffter, J. Soberón, P. Koleff, y A. Melic, 5–18. Zaragoza: Monografías Tercer Milenio.
- HARRIS, M. 2001. *Antropología Cultural*. Salamanca: Alianza Editorial.
- HEGSELMAN, R., A. FLANCHE, Y V. MÖLLER. 2000. Cellular Automata as a Modelling Tool: Solidarity and Opinion Formation. En *Tools and Techniques for Social Science Simulation*, ed. R. Suleiman, K. Troitzsch, y N.G. Gilbert, 151–178. Heidelberg: Physics-Verlay.
- HELBING, D. 2010. Pluralistic Modeling of Complex System. *Science and Culture* 76: 315–329.
- HENRICH, J., Y R. BOYD. 1998. The Evolution of Conformist Transmission and the Emergence of Between-Group Differences. *Evolution and Human Behavior* 19: 215–245.
- HENRICH, J., Y R. MCELREATH. 2003. The Evolution of Cultural Evolution. *Evolutionary Anthropology* 12: 123–135.
- HEPPENSTALL, ALISON J, ANDREW T CROOKS, LINDA M SEE, Y MICHAEL BATTY, EDS. 2012. *Agent-Based Models of Geographical Systems*. New York: Springer.
- HERNANDO GONZALO, A. 1999. *Los Primeros Agricultores de la Península Ibérica: Una Historiografía Crítica del Neolítico*. Arqueología Prehistórica. Madrid: Síntesis.
- HIJMANS, R.J., S.E. CAMERON, J.L. PARRA, P.G. JONES, Y A. JARVIS. 2005. Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965–1978.
- HODDER, I., Y C. ORTON. 1990. *Arqueología Espacial en Arqueología*. Barcelona: Crítica.
- HOLDEN, C., Y R. MACE. 1997. Phylogenetic Analysis of the Evolution of Lactose Digestion in Adults. *Human*

Biology 69, no. 5: 605–628.

ISERN, N., J. FORT, A.F. CARVALHO, J.F. GIBAJA BAO, Y J.J. IBÁÑEZ ESTÉVEZ. 2014. The Neolithic Transition in the Iberian Peninsula: Data Analysis and Modeling. *Journal of Archaeological Method and Theory* 21: 447–460.

IZQUIERDO, L., J.M. GALÁN, J.I. SANTOS, Y R. DEL OLMO. 2008. Modelado de Sistemas Complejos Mediante Simulación Basada en Agentes y Mediante Dinámica de Sistemas. *EMPIRIA. Revista de Metodología de Ciencias Sociales* 16: 85–112.

JANSSEN, M.A. 2010. *Introduction to Agent-Based Modeling*. Tempe, Arizona. www.openabm.org/book/

JANSSEN, M.A., L.N. ALESSA, M. BARTON, S. BERGIN, Y A. LEE. 2008. Towards a Community Framework for Agent-Based Modelling. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 11, no. 2: 6.

JIMÉNEZ GUIJARRO, J. 2008. El Horizonte Cardial del Interior de la Península Ibérica. En *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006*, ed. M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz, y J.A. López Padilla, 2:348–355. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.

———. 2010. *Cazadores y Campesinos: La Neolitización del Interior de la Península Ibérica*. Vol. 31. Bibliotheca Archaeologica Hispanica. Madrid: Real Academia de Historia.

JOHNSON, G.A. 1982. Organizational Structure and Scalar Stress. En *Theory and Explanation in Archaeology*, ed. C. Renfrew, M. Rowlands, y B.A. Segraves-Whallon, 389–421. Southampton: Academic Press.

JONES, G.T., R. LEONARD, Y A. ABBOTT. 1995. The Structure of Selectionist Application in Archaeology. En *Evolutionary Archaeology: Methodological Issues*, ed. P.A. Teltser, 13–32. Tucson: Arizona University Press.

JORDAN, P., Y S. SHENNAN. 2009. Diversity in Hunter-Gatherer Technological Traditions: Mapping Trajectories of Cultural Descent with Modification in Northeast California. *Journal of Anthropological Archaeology* 28: 342–365.

JUAN CABANILLES, J., Y B. MARTÍ OLIVER. 2011. La Fase C del Epopaleolítico Reciente: Lugar de Encuentro o Línea Divisoria. Reflexiones en Torno a La Neolitización en la Fachada Mediterráneo Peninsular. *Veleia: Revista de Prehistoria, Historia Antigua, Arqueología y Filología Clásicas* 24-35: 611–628.

———. 2002. Poblamiento y Procesos Culturales en la Península Ibérica Del VII Al V Milenio Ac. Ed. E., Badal García, J., Bernabeu Auban, y Bernat Martí Oliver. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valencia* no. Extra 5. El Paisaje En El Neolítico Mediterráneo.: 45 – 87.

KANDLER, A., Y S. SHENNAN. 2013. A Non-Equilibrium Neutral Model for Analysing Cultural Change. *Journal of Theoretical Biology* 330: 18–25.

KENNETT, D., J, Y BRUCE WINTERHALDER, EDS. 2006. *Behavioral Ecology and the Transition to Agriculture*. Berkeley: University of California Press.

KIMURA, M. 1968. Evolutionary Rate at the Molecular Level. *Nature* 217, no. 5129: 624–626.

KLEIJNEN, J.P.C., S.M. SANCHEZ, T.W. LUCAS, Y T.M. CIOPPA. 2003. *A User's Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments*. Tilburg University, Center for Economic Research. <http://ideas.repec.org/p/dgr/kubcen/20031.html>.

———. 2005. A User's Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments. *INFORMS Journal on Computing* 17, no. 3: 356–259.

KOEHLER, H. 1931. *La Grotte d'Achakar Au Cap Spartel*. Rabat: Institut d'Estudes de Religion de L'evché de

Rabat.

- KOERPER, H.C., Y E.G. STICKEL. 1980. Cultural Drift: A Primary Process of Cultural Change. *Journal of Anthropological Research* 36, no. 4: 463–469.
- KOHLER, T.A. 1993. News from the North American Southwest: Prehistory on the Edge of Chaos. *Journal of Archaeological Research* 1: 267–321.
- . 2000. Putting Social Sciences Together Again: An Introduction to the Volume. En *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent-Based Modelling of Social and Spatial Processes*, ed. T.A. Kohler y G.J. Gumerman, 1–20. Studies in the Sciences of Complexity. Oxford: Oxford University Press.
- . 2011. *Complex Systemas and Archaeology*. SFI Working Paper. Santa Fe: Santa Fe Institute.
- KOHLER, T.A., J. KRESL, C. VAN WEST, Y R.H. WILSHUSEN. 2000. Be There Then: A Modeling Approach to Settlement Determinants and Spatial Efficiency among Late Ancestral Pueblo Populations of the Mesa Verde Region, U.S Southwest. En *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent Based Modeling of Social and Spatial Processes*, ed. T.A. Kohler y G.J. Gumerman, 145–178. Studies in the Sciences of Complexity. Oxford: Oxford University Press.
- KOHLER, T.A., Y GEORGE J. GUMERMAN, EDS. 2000. *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent Based Modeling of Social and Spatial Processes*. Studies in the Sciences of Complexity. Oxford: Oxford University Press.
- KOHLER, T.A., Y M. D. VARIEN, EDS. 2012. *Emergence and Collapse of Early Villages Models of Central Mesa Verde Archaeology*. Berkeley: University of California Press.
- KOPPS, A.M., C.Y. ACKERMANN, W.B. SHERWIN, S.J. ALLEN, L. BEJDER, Y M. KRÜTZEN. 2014. Cultural Transmission of Tool Use Combined with Habitat Specializations Leads to Fine-Scale Genetic Structure in Bottlenose Dolphins. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281
- KUHN, S.L., Y M.C. STINER. 2006. What's a Mother to Do? *Current Anthropology* 47, no. 6: 953–980.
- LAKE, M.W. 2001. Numerical Modelling in Archaeology. En *Handbook of Archaeological Sciences*, ed. D.R. Brothwell y A.M. Pollard, 723–732. Chichester: John Wiley & Sons.
- . 2013. Trends in Archaeological Simulation. *Journal of Archaeological Method and Theory*: 1–30.
- LALAND, K.N., Y G. BRONW. 2006. An Introduction to Evolutionary Models of Human Social Behavior. En *Social Information Transmission and Human Biology*, ed. J. Wells, S. Strickland, y K.N. Laland, 19–37. Boca Ratón: Taylor & Francis.
- LANSING, J.S. 2002. “Artificial Societies” and the Social Sciences. *Artificial Life* 8: 279–292.
- LARROSA, J.M. 2012. *Algoritmos Evolutivos en Juegos de Formación de Red. Una Aplicación en NetLogo*. Saarbrücken: Editorial Académica Española.
- LARSON, G., Y J. BURGER. 2014. A Population Genetics View of Animal Domestication. *Trends in Genetics* 29, no. 4: 197–205.
- LENGREDE, P., Y L. LENGREDE. 1998. *Numerical Ecology*. Amsterdam: Elsevier.
- LEOMBRUNI, R. 2002. *The Methodological Status of Agent-Based Simulations*. Working Papers Series. Laboratorio Revelli SIEC. Moncalieri: University of Ancona.
- LEONARD, R., Y G.T. JONES. 1987. Elements of an Inclusive Evolutionary Model for Archaeology. *Journal of An-*

- thropological Archaeology* 6, no. 3: 199–219.
- Lestern, N.. 1987. Morphology and Anatomy of the Wheat Plant. *American Society of Agronomy* 13: 33–71.
- LINSTÄDTER, J., Y G. WAGNER. 2013. The Early Neolithic Pottery of Ifri Oudadane, NE Morocco – Qualitative and Quantitative Evidence. *Journal of African Archaeology* 11, no. 2: 155–196.
- LIPO, C.P., M.E. MADSEN, R. DUNNELL, Y T. HUNT. 1997. Population Structure, Cultural Transmission and Frequency Seriation. *Journal of Anthropological Archaeology* 16: 301–333.
- LLOYD, S. 2001. Measures of Complexity: A Non Exhaustive List. *IEEE Control Systems Magazine* 21, no. 4: 7–8.
- LÓPEZ BELLIDO, L. 1991. *Cultivos Herbáceos, Vol. 1. Cereales*. Madrid: Mundi-Prensa.
- LÓPEZ BELLIDO, L., M. FUENTES, J.E. CASTILLO, Y F.J. LÓPEZ-GARRIDO. 1996. El Rendimiento del Trigo en la Campaña del Guadalquivir. *Revista Vida Rural* 36: 36–44.
- LÓPEZ-GONZÁLEZ, C., Y M. MARQUEZ-LINARES. 2004. Corrección Secuencial de Bonferroni para el Ajuste del Nivel de Significancia en Pruebas Estadísticas Simultáneas. *Vertebrata Mexicana* 14: 21–28.
- LOSILLA, J.M., J.B. NAVARRO, A. PALMER, M.F. RODRIGO, Y M. ATO. 2005. *Del Contraste de Hipótesis al Modelado Estadístico*. Girona: Documenta Universitaria.
- LOZANO, S. 2009. Dynamics of Social Complex Networks: Some Insights into Recent Research. En *Dynamics On and Of Complex Networks: Applications to Biology, Computer Science, and the Social Sciences (Modeling and Simulation in Science, Engineering and Technology)*, ed. N. Ganguly, A. Deutsch, y A. Mukherjee, 133–143. Boston: Springer Science.
- DEL LUCCHESI, A., Y E. STARNINI. 2006. Aggiornamenti sulla Cultura della Ceramica Impresa in Liguria. Nuovi Dati Dall'assemblaggio della Ceramica delle Arene Candide. *Archaeologie in Liguria* 2: 11–25.
- LUKE, S., G.C. BALAN, L. PANAIT, C. CIOFFI-REVILLA, Y S. PAUS. 2003. MASON: A Java Multi-Agent Simulation Library. En *Proceedings of Agent 2003, Conference on Challenges in Social Simulation*, ed. C.M. Macal, M. North, y D. Sallach, 49–64. Argonne, Illinois: Argonne National Laboratory.
- LULL SANTIAGO, V., R. MICÓ PÉREZ, C. RIHUETE HERRADA, Y R. RISCH. 2011. Límites Históricos y Limitaciones del Conocimiento Arqueológico: La Transición entre los Grupos Arqueológicos de los Millares y El Argar. En *Arqueología, Sociedad, Territorio y Paisaje. Estudios sobre Prehistoria Reciente, Protohistoria y Transición Al Mundo Romano*. En *Homenaje a M^{ra} Dolores Fernández Posse*, ed. P. Bueno Ramírez, 75–94. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC, Instituto de Historia.
- LYMAN, R.L., Y M.J. O'BRIEN. 1997. The Concept of Evolution in Early Twentieth-Century Americanist Archaeology. En *Rediscovering Darwin: Evolutionary Theory and Archeological Explanation*, ed. C.M. Barton y G.A. Clark, 21–48. Arlington, Virginia: American anthropological Association.
- . 1998. The Goals of Evolutionary Archaeology: History and Explanation. *Current Anthropology* 39, no. 5: 615–652.
- LYTINEN, S.L., Y S.F. RAILSBACK. EN PRENSA. The Evolution of Agent-Based Simulation Platforms: A Review of NetLogo 5.0 and ReLogo. Proceedings of the Fourth International Symposium on Agent-Based Modeling and Simulation.
- MACAL, C.M., Y M.J. NORTH. 2005. Tutorial on Agent-Based Modeling and Simulation. En *Proceedings of the*

- 2005 *Winter Simulation Conference*, ed. M.E. Kuhl, N.M. Steiger, F.B. Amstrong, y J.A. Joines. Orlando: Winter Simulation Conference Board of Directors.
- . 2009. Agent-Based Modeling and Simulation. En *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, ed. M.D. Rosseti, R.R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin, y R.G. Ingalls, 86–98. Orlando: Winter Simulation Conference Board of Directors.
- MACARTHUR, R.H., y E.R. PIANKA. 1966. On Optimal Use of a Environment. *The American Naturalist* 100, no. 916: 603–609.
- MADSEN, M.E. 2012. Unbiased Cultural Transmission in Time-Averaged Archaeological Assemblages. *SSRN Electronic Journal* 04/2012.
- MAGGI, R. 2002. La Facies e Ceramica Impressa Dell'area Ligure. En *Le Ceramiche Impresse Nel Neolitico Antico. Italia E Mediterraneo*, ed. M.A. Fugazzola, A. Pessina, y V. Tiné, 91–96. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- MAGGI, R., E. STARNINI, y B. VOYKET. 1997. *Arene Candide: A Functional and Environmental Assessment of the Holocene Sequence: Excavations Bernabò Brea, Cardini 1940-50*. Roma: Istituto italiano di paleontologia umana.
- MANEN, C. 2000a. Implantation de Faciès D'origine Italienne Au Néolithique Ancien L'exemple Des Sites Liguriens Du Languedoc. En *Rencontres Meridionales E Préhistoire Récente*, 35–42. Toulouse: Éditions Archives d'Écologie Préhistorique.
- . 2000b. Le Néolithique Ancien Entre Rhône et Ebre: Analyse Des Céramiques Décorées. Toulouse: Ecole des Hautes en Sciences Sociales.
- . 2002. Structure et Identité Des Styles Céramiques Du Néolithique Ancien Entre Rhône et Èbre. *Gallia Préhistoire* 44: 121–165.
- . 2007. La Production Céramique de Pont de Roque-Haute: Synthèse et Comparaisons. En *Pont de Roque-Haute. Nouveaux Regards Sur La Néolithisation de La France Méditerranéenne*, ed. J. Guilaine, C. Manen, y J.-D. Vigne, 151–166. Toulouse: Centre d'Anthropologie.
- MANEN, C., F. CONVERTINI, D. BINDER, y I. SÉNÉPART, EDS. 2010. *Premières Sociétés Paysannes de Méditerranée Occidentale. Structures Des Productions Céramiques*. Mémoire de La Société Préhistorique Française. Toulouse: Société préhistorique française.
- MANEN, C., G. MARCHAND, y A.F. CARVALHO. 2007. Le Néolithique ancien de la péninsule Ibérique : vers une nouvelle évaluation du mirage africain ? En *Un siècle de construction du discours scientifique en Préhistoire, Congrès préhistorique de France*, ed. J. Evin, 3:133–151. Avignon: Société préhistorique française.
- MANEN, C., y T. PERRIN. 2009. Réflexions sur la Genèse du Cardial Franco-Ibérique. En *De Méditerranée et d'ailleurs...Mélanges Offerts À Jean Guilaine*, 427–443. Toulouse: Archives d'Écologie Préhistorique.
- MANEN, C., T. PERRIN, y J. GUILAINE. 2014. *La Transition Néolithique En Méditerranée*. Paris: Errance & Archives d'écologie préhistorique.
- MANTEL, N. 1967. The Detection of Disease Clustering and a Generalized Regression Approach. *Cancer Research* 27, no. 2: 209–220.
- MARIA, A. 1997. Introduction to Modeling and Simulation. En *Proceedings of the 29th Conference on Winter Simu-*

- lation, ed. S. Androdóttir, K.J. Healy, D.H. Withers, y B.L. Nelson, 7–13. Atlanta: Winter Simulation Conference.
- MARIETTO, M.B., N. DAVID, J.S. SICHMAN, y H. COELHO. 2003. Requirements Analysis of Agent-Based Simulation Platforms: State of the Art and New Prospects. En *Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-Agent-Based Simulation II*, ed. J.S. Sichman, F. Bousquet, y P. Davidsson, 125–141. MABS'02. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- MARTÍNEZ DE LAGRÁN, I. 2014. La Neolitización de La Meseta Norte y de La Alta y Media Cuenca del Ebro (España): Premisas Teóricas, Análisis del Registro y Planteamientos de Hipótesis. *Zephyrus* LXXIII: 83–107.
- MARTÍNEZ SANTA OLALLA, J. 1941. Esquema Paleontológico de la Península Hispánica. *Corona de Estudios de La Sociedad Española de Antropología, Etnografía Y Prehistoria* 1: 141–166.
- MARTINS, H., F.X. OMS, L. PEREIRA, A.W. PIKE, K. ROWSELL, y J. ZILHÃO. EN PRENSA. Radiocarbon Dating the Beginning of the Neolithic in Iberia: New Results, New Problems. *Journal of Mediterranean Archaeology*
- MARTÍ OLIVER, B. 1978. El Neolítico en la Península Ibérica. Estado Actual de los Problemas Relativos al Proceso de Neolitización y Evolución de las Culturas Neolíticas. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valencia* 13: 59–98.
- . 2008. Cuevas, Poblados y Santuarios Neolíticos: Una Perspectiva Mediterránea. En *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006*, ed. M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz, y J.A. López Padilla, 1:17–27. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.
- MAYR, E. 1982. *The Growth of Biological Thought*. Cambridge: Harvard University Press.
- . 1991. *One Long Argument: Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought*. Cambridge: Harvard University Press.
- MCLURE, S. 2011. Learning Technology: Cultural Inheritance and Neolithic Pottery Production in the Alcoi Basin, Alicante, Spain. Oxford: BAR international series 2300.
- MCLURE, S., M. JOCHIM, Y C.M. BARTON, 2006. Human Behavioral Ecology, Domestic Animals and Land Use during the Transition to Agriculture in Valencia, Eastern Spain. En *Behavioral Ecology and the Transition to Agriculture*, ed. D.J. Kennett y B. Winterhalder, 197-216. Berkeley: University of California Press.
- MCLEATH, R., y R. BOYD. 2007. *Mathematical Models of Social Evolution: A Guide for the Perplexed*. Chicago: University of Chicago Press.
- MCGLADE, J. 2005. Systems and Simulacra: Modeling, Simulation, and Archaeological Interpretation. En *Handbook of Archaeological Methods*, ed. H.D.G. Maschner y C. Chippindale, 554–602. Oxford: Altamira Press.
- MCGLADE, J., y S. VAN DER LEEUW. 1997. Introduction: Archaeology and Non-Linear Dynamics -New Approaches to Long-Term Change-. In *Time, Process and Structured Transformation in Archaeology*, ed. S. van der Leeuw and J. McGlade, 1–31. London: Routledge.
- MEDVED, I. 2013. Continuity vs Discontinuity: Epipaleolithic and Early Neolithic in the Mediterranean Southeast of the Iberian Peninsula. Cologne: Universität zu Köln.
- MESOUDI, A. 2011. *Cultural Evolution: How Darwinian Theory Can Explain Human Culture and Synthesize the Social Sciences*. Chicago: University of Chicago Press.
- MESOUDI, A., y S.J. LYCETT. 2009. Random Copying, Frequency-Dependent Copying and Culture Change. *Evolu-*

- tion and Human Behavior* 30, no. 1: 41–48.
- MESOUDI, A., A. WHITEN, Y K.N. LALAND. 2006. Towards a Unified Science of Cultural Evolution. *Behavioral and Brain Science* 2006, no. 29: 329–383.
- MESTRES, J. 1981. Avançament a l'Estudi del Jaciment de Les Guixeres de Vilobí. *Pyrenae: Revista de Prehistòria i Antiguitat de La Mediterrània Occidental* no. 17-18: 35–53.
- MIKULECKY, D.. 2001. The Emergence of Complexity: Science Coming of Age or Science Growing Old? *Computers & Chemistry* 25, no. 4: 341–248.
- MILLER, J.H., Y S.E. PAGE. 2004. The Standing Ovation Problem. *Complexity* 9, no. 5: 8–16.
- . 2007. *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*. Princeton-New Jersey: Princeton University Press.
- MILLS, B.J., J.J. CLARK, M.A. PEEPLES, W.R. HASS, J.M. ROBERTS, J.B. HILL, D. HUNTLEY, ET AL. 2013. Transformation of Social Networks in the Late Pre-Hispanic US Southwest. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110, no. 15: 5785–5790.
- MITCHELL, M. 2009. *Complexity: A Guided Tour*. Oxford: Oxford University Press.
- MITHEN, S. 1990. *Thoughtful Foragers: A Study of Prehistoric Decision Makers*. Cambridge: University Press.
- . 1994. Simulating Prehistoric Hunter-Gatherer. IE *Simulating Societies: The Computer Simulation of Social Phenomena*, ed. N.G. Gilbert y J.E. Doran. London: UCL Press.
- . 1997. Cognitive Archaeology. Evolutionary Psychology and Cultural Transmission. En *Rediscovering Darwin: Evolutionary Theory and Archeological Explanation*, ed. C.M. Barton y G.A. Clark, 67–74. Arlington, Virginia: American anthropological Association.
- . 1998. *Arqueología de La Mente*. Barcelona: Crítica.
- MONTES. L. 2014. Las Cerámicas Neolíticas del Sector Oeste de Forcas II. En *La Peña de Las Forcas (Graus, Huesca): Un Asentamiento Estratégico en la Confluencia del Ésera y el Isábena*, ed. P. Utrilla y C. Mazo, 245–266. Monografías Arqueológicas. Prehistoria, 46. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- MORALES, J., G. PÉREZ-JORDÀ, L. PEÑA-CHOCARRO, L. ZAPATA, M. RUÍZ-ALONSO, J.A. LÓPEZ-SÁEZ, Y J. LINSTÄDTER. 2013. The Origins of Agriculture in North-West Africa: Macro-Botanical Remains from Epipalaeolithic and Early Neolithic Levels of Ifri Oudadane (Morocco). *Journal of Archaeological Science* 40, no. 6: 2659–2669.
- MOSS, S., Y B. EDMONDS. 2005. Sociology and Simulation: -Statistical and Qualitative Cross-Validation,. *American Journal of Sociology* 110, no. 4: 1095–1131.
- MOUSSA, S. BEN 2008. A Propos des Datations Radiométriques Récentes de La Rammadiya de Sebkhet Halek El Menjel. *Africa Reppal* XIV: 47–62.
- MULAZZANI, S. 2013. *Le Capsein de Hergla (Tunisie): Culture, Environment et Économie*. African Archaeology. Frankfurt: Africa Magna Verlag.
- MULAZZANI, S., F.-X. LE BOURDONNÉ, L. BELHOUCHE, G. POUPEAU, J. ZOUGHLAMI, S. DUBERNET, E. TUFANO, Y. LE-FRAIS, Y R. KHEDHAÏER. 2010. Obsidian from the Epipalaeolithic and Neolithic Eastern Maghreb. A View from the Hergla Context (Tunisia). *Journal of Archaeological Science* 37, no. 10: 2529–2537.
- MUNTONI, I.M. 2003. *Modellare L'argilla. Vasai Del Neolitico Antico E Medio Nelle Murge Pugliesi*. Florence:

Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria,.

MYERS, G. 2004. *The Art of Software Testing*. New Jersey: John Wiley & Sons.

NATALI, E. 2010. Typologie des Décors de la Céramique Imprimée Archaique du Sud-Est de l'Italie. En *Premières Sociétés Paysannes de Méditerranée Occidentale. Structures Des Productions Céramiques*, ed. C. Manen, F. Convertini, D. Binder, y I. Sénépart, 43–55. Mémoire Société Préhistorique Française LI. Toulouse.

———. 2014. The Earliest Pottery in Italy: A Technological Approach to Impressed Decoration during the Archaic Phase. *The Old Potter's Almanack* 19 (2): 2–13.

NEIMAN, F.D. 1995. Stylistic Variation in Evolutionary Perspective: Inferences from Decorative Diversity and Interassemblage Distance in Illinois Woodland Ceramic Assemblages. *American Antiquity* 60, no. 1: 7–36.

NGO, T.A., Y L. SEE. 2012. Calibration and Validation of Agent-Based Models of Land Cover Change. In *Agent-Based Models of Geographical Systems*, ed. A.J. Heppenstall, A.T. Crooks, L.M. See, y M. Batty, 181–197. New York: Springer.

NIETO DE ALBA, U. 1984. *Introducción a La Estadística: Concepción Clásica y Bayesiana*. Madrid: Aguilar.

NUNN, C.L., C. ARNOLD, L. MATTHEWS, Y M.B. MULDER. 2010. Simulating Trait Evolution for Cross-Cultural Comparison. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 365, no. 1559: 3807–3819.

NUZZO, R. 2014. Statistical Erros. *Nature* 506: 150–153.

Nwana, H.S. 1996. Software Agents: An Overview. *Knowledge Engineering Review* 1996: 1–40.

O'BRIEN, M.J., Y T. HOLLAND. 1992. The Role of Adaptation in Archaeological Explanation. *American Antiquity* 57: 36–59.

O'BRIEN, M.J., Y K.N. LALAND. 2012. Genes, Culture, and Agriculture. *Current Anthropology* 53, no. 4: 434–470.

O'BRIEN, M.J., Y R.L. LYMAN. 2000a. Evolutionary Archaeology. En *Social Theory in Archaeology*, ed. M.B. Schiffer, 126–142. Foundations of Archaeological Inquiry. Salt Lake City: University of Utah.

———. 2000b. *Applying Evolutionary Archaeology: A Systematic Approach*. New York: Kluwer Academic/Plenum.

———. 2002a. Evolutionary Archaeology: Current Status and Future Prospects. *Evolutionary Anthropology* 11: 26–36.

———. 2002b. *Seriation, Stratigraphy and Index Fossils: The Backbone of Archaeological Dating*. New York: Kluwer Academic Publishers.

———. 2003a. *Cladistics and Archaeology*. Salt Lake City: University of Utah Press.

———. 2003b. Style, Function, Transmission: An Introduction. En *Style, Function, Transmission: Evolutionary Archaeological Perspectives*, ed. M.J. O'Brien y R.L. Lyman, 1–32. Foundations of Archaeological Inquiry. Salt Lake City: University of Utah Press.

ODLING-SMEE, J. 1988. Niche Constructing Phenotypes. En *The Role of Behavior in Evolution*, ed. H.C. Plotkin, 73–132. Cambridge: MIT Press.

———. 2006. How Niche Construction Contributes to Human Gene-Culture Coevolution. En *Social Information Transmission and Human Biology*, ed. J. Wells, S. Strickland, y K.N. Laland, 39–59. Boca Ratón: Taylor & Francis.

- ODLING-SMEE, J., D.E. ERWIN, E.P. PALKOVACS, M.W. FELDMAN, Y K.N. LALAND. 2013. Niche Construction Theory: A Practical Guide for Ecologists. *The Quarterly Review of Biology* 88, no. 1: 3–28.
- ODLING-SMEE, J., K.N. LALAND, Y M.W. FELDMAN. 2003. *Niche Construction: The Neglected Process in Evolution*. Princeton-New Jersey: Princeton University Press.
- OKSANEN, J., F., G. BLANCHET, R. KINDT, P. LEGENDRE, P.R. MINCHIN, R.. O'HARA, G. SIMPSON, P. SOLYMOS, M.H. STEVENS, Y H. WAGNER. 2013. *Community Ecology Package Version 2.0-10*. R “vegan” package.
- OLARIA PUYOLES, C.R., Y F. GUSI JENER. 1988. *Cova Fosca: Un Asentamiento Meso-Neolítico de Cazadores y Pastores en la Serranía del Alto Maestrazgo*. Castellón : Servicio de Publicaciones, Diputación de Castellón.
- OLSEN, J., J. HEINEMEIER, P. BENNIKE, C. KRAUSE, K. MARGRETHE HORNSTRUP, Y H. THRANE. 2008. Characterisation and Blind Testing of Radiocarbon Dating of Cremated Bone. *Journal of Archaeological Science* 35, no. 3: 791–800.
- OMS, F.X., X. ESTEVE, J. MESTRES I MERCADÉ, P. MARTÍN, Y H. MARTINS. 2014. La Neolitización del Nordeste de la Península Ibérica: Datos Radiocarbónicos y Culturales de los Asentamientos al Aire Libre del Penedès. *Trabajos de Prehistoria* 71, no. 1: 42–55.
- ORSI, P. 1890. Stazione Neolitica Di Stentinello, Siracusa. *Bulletino Di Paletnologia Italiana* XVI, no. 12: 177–200.
- ORTMAN, S.G., M.D. VARIEN, Y T.L. GRIPP. 2007. Empirical Bayesian Methods for Archaeological Survey Data: An Application from the Mesa Verde Region. *American Antiquity* 72, no. 2: 241–272.
- ORTON, C. 1999. Plus ca Change. Perceptions of Archaeological Statistics. En *Archaeology in the Age of Internet. Computers Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1997*, ed. L. Dingwall, S. Exon, V. Gaffney, S. Laflin, y M. van Leusen, 25–34. Oxford: BAR International Series 750.
- O'SULLIVAN, D. 2008. Geographical Information Science: Agent-Based Models. *Progress in Human Geography*: 1–10.
- O'SULLIVAN, D., J. MILLINGTON, G. PERRY, Y J. WAINWRIGHT. 2012. Agent-Based Models -Because They're Worth It? En *Agent-Based Models of Geographical Systems*, ed. A.J. Heppenstall, A.T. Crooks, L.M. See, y M. Batty, 109–123. New York: Springer.
- OTTONI, C., L.G. FLINK, A. EVIN, C. GEÖRG, B. DE CUPERE, W. VAN NEER, L. BARTOSIEWICZ, ET AL. 2012. Pig Domestication and Human-Mediated Dispersal in Western Eurasia Revealed through Ancient DNA and Geometric Morphometrics. *Molecular Biology and Evolution*. <http://mbe.oxfordjournals.org/content/early/2012/11/22/molbev.mss261.abstract>.
- PARDO GORDÓ, S., S.M. BERGIN, J. BERNABEU, Y C.M. BARTON. EN PRENSA. Alternative Stories of Agricultural Origins: The Neolithic Spread in the Iberian Peninsula. En *Times of Neolithic Transition along the Western Mediterranean*, ed. O. García Puchol y D.C. Salazar García. Fundamental Issues in Archaeology. Springer.
- PARISI, D., F. ANTINUCCI, F. NATALE, Y F. CECCONI. 2008. Simulating the Expansion of Farming and the Differentiation of European Languages. En *Origin and Evolution of Languages: Approaches, Models, Paradigms*, ed. B. Laks, 192–214. London: Equinox Publishing.
- PARUNAK, H.V.D., R. SAVIT, Y R.L. RIOLO. 1998. Agent-Based Modeling vs Equation-Based Modeling: A Case

- Study and Users' Guide. En *Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation. Lecture Notes in Artificial Intelligence*, ed. J.S. Sichman, R. Conte, y N.G. Gilbert, 10–25. Berlin: Springer-Verlag.
- PEARSON, K. 1895. Notes on Regression and Inheritance in the Case of Two Parents. *Proceedings of the Royal Society of London* 58: 240–242.
- PEEPLER, M.A. 2011. *R Script for Calculating the Brainerd-Robinson Coefficient of Similarity and Assessing Sampling Error*. <http://www.mattpeeples.net/br.html>.
- PELLICER, M., y P. ACOSTA. 1982. El Neolítico Antiguo en Andalucía Occidental. En *Le Néolithique Ancien Méditerranéen. Actes Du Colloque International de Préhistoire (Montpellier, 1981)*, 49–60. Seté: Fédération Archéologique de l'Herault.
- PEÑA-CHOCARRO, L., L. PEÑA, J. GAZÓLAZ, M. MORALES, J. SESMA, y L. STRAUS. 2005. The Spread of Agriculture in Northern Iberia: New Archaeobotanical Data from El Mirón Cave (Cantabria) and the Open-Air Site of Los Cascajos (Navarra). *Vegetation History and Archaeobotany* 14, no. 4: 268–278.
- PEÑA-CHOCARRO, L., G. PÉREZ JORDÀ, D. ABEL SCHAAD, J.F. GIBAJA BAO, E. LÓPEZ-ROMERO, J.A. LÓPEZ SÁEZ, M. MORENO GARCÍA, ET AL. 2011. La Campaña de Excavación 2011 en las Cuevas de El Khil (Achakar, Tánger, Marruecos). *Bienes Culturales. Revista Del Instituto Del Patrimonio Histórico Español* 9: 546–561.
- PÉREZ-LOSADA, J., y J. FORT. 2011. Spatial Dimensions Increase the Effect of Cultural Drift. *Journal of Archaeological Science* 38: 1294–1299.
- PESSINA, A., y V. TINÉ. 2008. *Archaeologia Del Neolitico. L'Italia Tra VI E IV Millenio AC*. Roma: Carocci editore.
- PINHASI, R., J. FORT, y A.J. AMMERMAN. 2005. Tracing the Origin and Spread of Agriculture in Europe. *PLoS Biol* 3, no. 12: e410.
- POLHILL, J.G. 2010. ODD Updated. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 13, no. 4
- POLHILL, J.G., D. PARKER, D. BROWN, y V. GRIMM. 2008. Using the ODD Protocol for Describing Three Agent-Based Social Simulation Models of Land-Use Change. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 11, no. 2: 3.
- PORČIĆ, M. 2014. Exploring the Effects of Assemblage Accumulation on Diversity and Innovation Rate Estimates in Neutral, Conformist, and Anti-Conformist Models of Cultural Transmission. *Journal of Archaeological Method and Theory*: 1–22.
- PREMO, L. 2010. Equifinality and Explanation: The Role of Agent-Based Modeling in Postpositivist Archaeology. En *Simulating Change: Archaeology into the Twenty-First Century*, ed. A. Costopoulos y M. Lake, 28–37. Foundations of Archaeological Inquiry. Salt Lake City: University of Utah Press.
- PRICE, T.D., y O. BAR-YOSEF. 2011. The Origins of Agriculture: New Data, New Ideas: An Introduction to Supplement 4. *Current Anthropology* 52, no. S4: S163–S174.
- PUGLISI, S.M. 1955. Industria Microlítica nei Livelli a Ceramica Impressa di Coppa Nevigata. *Rivista Di Scienze Preistorica* X: 19–27.
- QUESADA, M., y S. HASSAN. 2012. La Investigación Mediante Simulación Social Multiagente. En *Metodología de la Investigación Social. Técnicas Innovadoras y sus Aplicaciones*, ed. M. Arroyo Menéndez y I. Sebadoo Rodríguez, 321–344. Madrid: Síntesis.
- RADI, G. 2010. Les Séquences de La Céramique Imprimée en Italie. En *Premières Sociétés Paysannes de Méditer-*

- ranée Occidentale. Structures Des Productions Céramiques*, ed. C. Manen, F. Convertini, D. Binder, y I. Sénépart, 133–147. Mémoire Société Préhistorique Française LI. Toulouse.
- RADI, G., y R. GRIFONI CREMONESI. 2014. From the Mesolithic to the Early Neolithic in Central and Southern Italy. En *Transitions in Mediterranean How Hunters Became Farmers*, ed. J. Guilaine, C. Manen, y T. Perrin, 239–263. Toulouse.
- RAILSBACK, S.F., y V. GRIMM. 2012. *Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction*. New Jersey: Princeton University Press.
- RAILSBACK, S.F., S.L. LYTINEN, y S.K. JACKSON. 2006. Agent-Based Simulation Platforms: Review and Development Recommendations. *Simulation* 82, no. 9: 609–623.
- RAMIS, D., J.A. ALCOVERT, J. COLL, y M. TRÍAS. 2002. The Chronology of the First Settlement of the Balearic Islands. *Journal of Mediterranean Archaeology* 15(1): 3–24.
- RAUFASTE, N., y F. ROUSSET. 2001. Are Partial Mantel Test Adequate? *Evolution* 55(8): 1703–1705.
- REIMER, P.J., E. BARD, A. BAYLISS, J.W. BECK, P.G. BLACKWELL, C. BRONK RAMSEY, C.E. BUCK, ET AL. 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years Cal BP. *Radiocarbon* 55, no. 4: 1869–1887.
- RICHERSON, P.J., y R. BOYD. 2005. *Not Genes Alone: How Culture transformed Human Evolution*. Chicago: Chicago University Press.
- . 2008. Response to Our Critics. *Biology and Philosophy* 23, no. 2: 301–315.
- RICK, J.W. 1987. Dates as Data: An Examination of the Peruvian Pre-ceramic Radiocarbon Record. *American Antiquity* 52, no. 1: 55–73.
- RINDOS, D. 1985. Darwinian Selection, Symbolic Variation and the Evolution of Culture. *Current Anthropology* 26, no. 1: 65–88.
- RIPLEY, B., B. VENALBES, D.M. BATES, K. HORNIK, A. GEBHARDT, y D. FIRTH. 2015. *Support Functions and Datasets for Venables and Ripley's MASS*. R “MASS” package.
- RIVERA, Á. 2005. *Arqueología Cognitiva: Origen del Simbolismo Humano*. Madrid: Arco Libros.
- RODRIGUEZ, G. 1984. *La Grotte de Camprafaud: Contribution à L'étude Du Néolithique en Languedoc Central*. Montpellier: Office régional de la Culture du Languedoc-Roussillon.
- RODRIGUEZ MARTINEZ, J. 1982. *Oceanografía del Mar Mediterráneo*. Madrid: Pirámide.
- ROGERS, D.S., y P.R. EHRLICH. 2008. Natural Selection and Cultural Rates of Change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, no. 9: 3416.3420.
- ROGERS, E. 1983. *The Diffusion of Innovations*. New York: Free Press.
- ROJO GUERRA, M. A., R., GARRIDO PENA, y I., GARCÍA-MARTÍNEZ DE LAGRÁN, EDS. 2012. *El Neolítico en la Península Ibérica Y su Contexto Europeo*. Madrid: Cátedra.
- . 2008. La Ocupación del Neolítico Antiguo del Abrigo de Carlos Álvarez/La Dehesa (Miño de Medinaceli, Soria). En *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006*, ed. M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz, y J.A. López Padilla, 1:246–251. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.
- ROJO, M.A., M. KUNST, R. GARRIDO PENA, y I. GARCÍA-MARTÍNEZ DE LAGRÁN. 2006. La Neolitización de La Meseta Norte a la Luz Del C-14: Análisis de 47 Dataciones Absolutas Inéditas de dos Yacimientos Domésticos del Valle

- de Ambrona, Soria, España. *Archivo de Prehistoria Levantina* XXVI: 39–100.
- ROJO, M.A., M. KUNST, R. GARRIDO PENA, I. GARCÍA-MARTÍNEZ DE LAGRÁN, Y G. MORÁN. 2008. *Paisajes de la Memoria: Asentamientos del Neolítico Antiguo En El Valle de Ambrona (Soria, España)*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- ROMERO, N. 2003. Comentarios Sobre la Definición de Automata Celular. *Boletín de La Asociación Matemática Venezolana* X, no. 1: 59–77.
- ROSENBERG, M. 1990. The Mother of Invention: Evolutionary Theory, Territoriality and the Origins of Agriculture. *American Anthropology* 92, no. 2: 399–415.
- . 1994. Pattern, Process, and Hierarchy in the Evolution of Culture. *Journal of Anthropological Archaeology* 13, no. 4: 307–340.
- ROUDIL, J.L. 1990. Cardial et Néolithique Ancien Ligure Dans le Sud-Est de La France. En *Rubané et Cardial*, ed. D. Cahen and M. Otte, 383–392. Service de Préhistoire de l'Université 39. Liège: ERAUL.
- RUBINOS PÉREZ, A., R. FÁBREGAS VALCARCEL, F. ALONSO MATHIAS, Y Á. CONCEIRO COELLO. 1999. Las Fechas C-14 Del Castro de O Achadizo (Boiro, A Coruña): Problemática de la Calibración de Conchas Marinas. *Trabajos de Prehistoria* 56, no. 1: 147–155.
- RUBIO-CAMPILLO, X., J.M. CELA, Y F.X. HERNÁNDEZ CARDONA. 2012. Simulating Archaeologists? Using Agent-Based Modelling to Improve Battlefield Excavations. *Journal of Archaeological Science* 39: 347–356.
- SABATIER, P., AND C. MANEN. 2003. Chronique Radiocarbone de la Néolithisation en Méditerranée Nord-Occidentale. *Bulletin de La Société Préhistorique Française*: 479–504.
- SAN MIGUEL, M., R. TORAL, Y V.M. EGUÍLIZ. 2005. Redes Complejas en la Dinámica Social. *INGURUAK, Revista Vasca de Sociología Y Ciencia Política* 42: 127–146.
- SAN VALERO, J. 1947. La Caverna de las Arenas Cándidas y el Neolítico de Europa Occidental. *Rivista Di Studi Liguri* XIII, no. 3: 184–186.
- . 1948. *La Península Hispánica en el Mundo Neolítico*. Madrid: Publicaciones del Seminario de Historia primitiva del hombre.
- SARKAR, S. 2007. *Doubting Darwin? Creationist Designs on Evolution*. Oxford: Blackwell.
- SCHIFFER, M.B. 2011. A Behavioral Archaeologist Responds. *Journal of Archaeological Method and Theory* 18, no. 4: 336–348.
- SCHUHMACHER, T., AND G. WENIGER. 1995. Continuidad y Cambio. Problemas de la Neolitización en el Este de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistoria* 2: 83–97.
- SHENNAN, S. 2002. *Genes, Memes and Human History. Darwinina Archaeology and Cultural Evolution*. Londres: Thames & Hudson.
- . 2006. From Cultural History to Cultural Evolution: An Archaeological Perspective on Social Information Transmission. En *Social Information Transmission and Human Biology*, ed. J. Wells, S. Strickland, and K.N. Laland, 173–189. Boca Ratón: Taylor & Francis.
- . 2008a. Evolution in Archaeology. *Annual Review of Anthropology* 37: 75–91.
- . 2008b. Population Processes and Their Consequences in Early Neolithic Central Europe. En *The Neo-*

- lithic Demographic Transition and Its Consequences*, ed. J.-P. Bocquet-Appel and O. Bar-Yosef, 315–329. Netherlands: Springer.
- . 2009 Why Should We Believe Archaeological Interpretations? En *Interpretation in the Humanities: Perspectives from Artificial Intelligence*, ed. J.R. Ennals and J.-C. Gardin, 80–100. London: The British Library.
- . 2011a. Property and Wealth Inequality as Cultural Niche Construction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 366, no. 1566: 918–926.
- . 2011b. Descent with Modification and the Archaeological Record. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 366: 1070–1090.
- SHENNAN, S., S.S. DOWNEY, A. TIMPSON, K. EDINBOROUGH, S. COLLEDGE, T. KERIG, K. MANNING, Y M.G. THOMAS. 2013. Regional Population Collapse Followed Initial Agriculture Booms in Mid-Holocene Europe. *Nature Communications*: 1–8.
- SHENNAN, S., Y K. EDINBOROUGH. 2007. Prehistoric Population History: From the Late Glacial to the Late Neolithic in Central and Northern Europe. *Journal of Archaeological Science* 34, no. 8: 1339–1345.
- SHENNAN, S.J., E.R. CREMA, Y T. KERIG. 2015. Isolation-by-Distance, Homophily, and “core” vs. “package” Cultural Evolution Models in Neolithic Europe. *Evolution and Human Behavior* 36, no. 2: 103–109.
- SHENNAN, S., Y J.R. WILKINSON. 2001. Ceramic Style Change and Neutral Evolution: A Case Study from Neolithic Europe. *American Antiquity* 66, no. 4: 577–593.
- SHEN, W., Q. HAO, H.J. YOON, Y D.H. NORRIE. 2006. Applications of Agent-Based Systems in Intelligent Manufacturing: An Updated Review. *Advanced Engineering Informatics* 20, no. 4: 415–431.
- SIANI, G., M. PATERNE, M. ARNOLD, E. BARD, B. MÉTIVIER, N. TISNERAT, Y F. BASSINOT. 2002. Radiocarbon Reservoir Ages in the Mediterranean Sea and Black Sea. *Radiocarbon* 42: 271–280.
- SILVA, F., Y J. STEELE. 2014. New Methods for Reconstructing Geographical Effects on Dispersal Rates and Routes from Large-Scale Radiocarbon Databases. *Journal of Archaeological Science*.
- SINCLAIR, T.R., Y N.G. SELIGMAN. 1996. Crop Modeling: From Infancy to Maturity. *Agronomy Journal* 88, no. 5: 698–704.
- SIRET, L. 1913. *Questions de Chronologie et d’Etnographie Ibériques*. Vol. 1. De La Fin Du Quaternaire À La Fin Du Bronze. Paris: P. Geuthner.
- SJÖGREN, K.-G. 2011. Cronología Radiocarbónica de Las Tumbas Megalíticas Escandinavas. *Menga M01*. Exploring Time and Matter in Prehistoric Monuments: Absolute Chronology and Rare Rocks in European Megaliths: 114–119.
- SKIBO, J.M., Y M.B. SCHIFFER. 2008. *People and Things: A Behavioral Approach to Material Culture*. New York: Springer Science.
- SMITH, E.A. 2000. Three Styles in the Evolutionary Analysis of Human Behavior. En *Adaptation and Human Behavior: An Anthropological Perspective*, ed. L. Cronk, N. Chagnon, y W. Irons, 27–46. New York: Aldine de Gruyter.
- SMITH, E.A., Y B. WINTERHALDER. 2003. Human Behavioral Ecology. In *Encyclopedia of Cognitive Science*, ed. L. Nadel, 2:377–385. Londres: Nature Publishing Group.

- SMITH, J.M., Y J. HAIGH. 1974. The Hitch-Hiking Effect of a Favourable Gene. *Genetics Research* 23, no. 01: 23–35.
- SMOUSE, P.E., J. LONG, Y R.R. SOKAL. 1986. Multiple Regression and Correlation Extensions of the Mantel Test of Matrix Correspondence. *Systematic Zoology* 35(4): 627–632.
- SOARES, A.M.M., Y J.M.A. DIAS. 2006. Coastal Upwelling and Radiocarbon-Evidence for Temporal Fluctuations in Ocean Reservoir Effect off Portugal during the Holocene. *Radiocarbon* 48, no. 1: 45–60.
- SOLER DÍAZ, J.A., D. DUQUE ESPINO, C. FERRER GARCÍA, G. GARCÍA ATIENZAR, O. GÓMEZ PÉREZ, P.M. GUILLEM CALATAYUD, M.P. IBORRA ERES, ET AL. 2013. La Primera Ocupación Neolítica de La Cova d'En Pardo (Planes, Alicante). Avance de Estudio Pluridisciplinar de los Niveles VIII Y VIIIb. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valencia* 45: 9–24.
- SOLER DÍAZ, J.A., O. GÓMEZ PÉREZ, G. GARCÍA ATIENZAR, Y C. ROCA DE TOGORES MUÑOZ. 2011. Sobre El Primer Horizonte Neolítico en la Cova D'en Pardo (Planes, Alicante). Su Evaluación desde el Registro Cerámico. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 201–212.
- SPARTARO, M. 2001. *The First Farming Communities of the Adriatic: Pottery Production and Circulation in the Early and Middle Neolithic*. Società per La Prehistoria E Protostoria Delle Regione Friuli-Venezia Giulia. Trieste: Edizioni Svevo Trieste.
- SPENCER, C.S. 1997. Evolutionary Approaches in Archaeology. *Journal of Archaeological Research* 5, no. 3: 209–264.
- STEELE, J. 2009. Human Dispersals: Mathematical Models and the Archaeological Record. *Human Biology* 81, no. 2-3: 121–140.
- STERELNY, K. 2006. Memes Revisited. *The British Journal for the Philosophy of Science* 57, no. 1: 145–165.
- STIGLER, S.M. 1989. Francis Galton's Account of the Invention of Correlation. *Statistical Science* 4(2): 73–79.
- STROGATZ, S.H. 1994. *Nonlinear Dynamics and Chaos*. Reading, Massachusetts: Perseus Book.
- SUROVELL, T.A., J. BYRD FINLEY, G.M. SMITH, P.J. BRANTINGHAM, Y R. KELLY. 2009. Correcting Temporal Frequency Distributions for Taphonomic Bias. *Journal of Archaeological Science* 36, no. 8: 1715–1724.
- SUROVELL, T., Y P. BRANTINGHAM. 2007. A Note on the Use of Temporal Frequency Distributions in Studies of Prehistoric Demography. *Journal of Archaeological Science* 34: 1868–1877.
- SUTHERLAND, W.J. 1996. *From Individual Behaviour to Population Ecology*. Oxford: Oxford University Press.
- TARRADELL, M. 1965. Una Hipótesis que se Desvanece: El Papel de África en las Raíces de los Pueblos Hispánicos. En *Homenaje a J. Vicens Vives*, ed. J. Maluquer de Motes, 173–181. Barcelona: Facultad de Filosofía y Letras.
- . 1966. Notas para la Revisión del Neolítico Norteafricano. En *V Congreso Panafricano de Prehistoria y de Estudio del Cuaternario*, 2:271–275. Santa Cruz de Tenerife: Cabildo Insular de Tenerife.
- TERNA, P. 1998. Simulation Tools for Social Scientists: Building Agent Based Models with SWARM. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 1, no. 2. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/1/2/4.html>.
- THIELE, J.C., Y V. GRIMM. 2010. NetLogo Meets R: Linking Agent-Based Models with a Toolbox for Their Analysis. *Environmental Modelling & Software* 25, no. 8: 972–974.
- THOMAS, D.H. 1972. A Computer Simulation Model of Great Basin Shoshonean Subsistence and Settlement. En

- Models in Archaeology*, ed. D.L. Clarke, 671–704. London: Methuen.
- TIMPSON, A., S. COLLEDGE, E. CREMA, K. EDINBOROUGH, T. KERIG, K. MANNING, M.G. THOMAS, Y S. SHENNAN. 2014. Reconstructing Regional Population Fluctuations in the European Neolithic Using Radiocarbon Dates: A New Case-Study Using an Improved Method. *Journal of Archaeological Science*.
- TINÈ, S. 1983. *Passo di Corvo e La Civiltà Neolitica del Tavoliere*. Genova: Sagep Editrice.
- . 1999. *Il Neolitico nella Caverna delle Arene Candide (scavi 1972-1977)*. Bordighera: Istituto internazionale studi liguri.
- TINÈ, S., Y M. BERNABO BREA. 1980. Il Villaggio Neolitico del Guadone. *Rivista Di Scienze Preistoriche XXXV* (1-2): 45–74.
- TINÈ, V. 2009. *Favella: Un Villaggio Neolitico nelle Sibaritide*. Roma: Instituto Poligrafico e Zeca dello Stato.
- TISUE, S., Y U. WILENSKY. 2004. NetLogo: A Simple Environment for Modeling Complexity. In *International Conference on Complex Systems*, 16–21.
- TOBIAS, R., Y C. HOFMANN. 2004. Evaluation of Free Java-Libraries for Social-Scientific Agent Based Simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 7, no. 1. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/7/1/6.html>.
- UERPMMANN, H.P. 1987. The Origins and Relations of Neolithic Sheep and Goats in the Western Mediterranean. In *Premières Communautés Paysannes En Méditerranée Occidentale*, ed. J. Guilaine, J. Courtin, J. Roudil, y J. Vernet L., 175–179. Montpellier: CNRS.
- ULLAH, I.I., Y S. BERGIN. 2012. Modeling the Consequences of Village Site Location: Least Cost Path Modeling in a Coupled GIS and Agent-Based Model of Village Agropastoralism in Eastern Spain. En *Least Cost Analysis of Sicuak Landscapes: Archaeological Case Studies*, ed. D.A. White y S.L. Surface-Evans, 155–173. Salt Lake City: University of Utah.
- UTRILLA MIRANDA, P. Y M. MARTÍNEZ BEA. 2011. Las Cerámicas Del Plano Del Pulido (Caspé, Zaragoza). *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 147–149.
- UTRILLA MIRANDA, P. 2002. Epipaleolíticos y Neolíticos En el Valle del Ebro. Ed. Ernestina Badal García, Joan Bernabeu, y Bernat Martí Oliver. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. Extra 5. El Paisaje En El Neolítico Mediterráneo.: 179–208.
- UTRILLA MIRANDA, P., Y L. MONTES RAMÍREZ. 2009. *El Mesolítico Geométrico en la Península Ibérica*. Monografías Arqueológica 44. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- UTRILLA MIRANDA, P., Y C. MAZO. 2014. *La Peña de Las Forcas (Graus, Huesca): Un Asentamiento Estratégico En la Confluencia del Ésera y el Isábena*. Monografías Arqueológicas. Prehistoria, 46. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- VALDÉS, L. 2009. *Gaztiburu: El Santuario Vasco de la Edad Del Hierro*. Bibliotheca Archaeologica Hispanica 29. Madrid: Real Academia de Historia.
- VALERA, A. 2013. Recintos de Fossos Da Pré-História Recente Em Portugal: Investigação, Discursos, salvaguarda E Divulgação. *Al-Madam* 18: 93–110.
- VANDER LINDEN, M. 2011. In Constant Motion? Recent Advances in Mathematical Modelling and Radiocarbon Chronology of the Neolithisation of Europe. En *The Dynamics of Neolithisation in Europe. Studies in Honour of*

- Andrew Sherratt, ed. A. Hadjikoymis, E. Robinson, y S. Viner, 25–45. Oxford: Oxbow Books.
- VAN DER LEEUW, S., y J. MCGLADE, EDS. 1997. *Time, Process and Structured Transformation in Archaeology*. London: Routledge.
- VAN DER LEEUW, S. 2004. Why Model? *Cybernetics and Systems: An International Journal* 35: 117–128.
- VAUFREY, R. 1939. *L'art Rupestre Nord-Africain*. Archives de l'Institut de Paleontologie Humaine 20. Paris: Masson.
- VICENT GARCÍA, J.M. 1997. The Island Filter Model Revisited. En *Encounters and Transformations. The Archaeology of Iberia in Transition.*, ed. M.S. Balmuth, A. Gilman Guillén, y L. Prados Torreira, 1–13. Monographs in Mediterranean Archaeology 7. Sheffield: Sheffield Academic Press.
- VILLAREAL, H., M. ÁLVAREZ, F. CÓRDOBA, G. FAGUA, F. GAST, H. MENDOZA, M. OSPINA, y A.M. UMAÑA. 2006. Métodos para el Análisis de Datos: Una Aplicación Para Resultados Provenientes de Caracterizaciones de Biodiversidad. En *Manual de Métodos Para el Desarrollo de Inventarios de Biodiversidad*, ed. H. Villareal, M. Álvarez, F. Córdoba, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina, y A.M. Umaña, 187–225. Bogotá: Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander van Humbolt.
- WALDROP, M.M. 1992. *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. New York: Simon and Schuster.
- WANG, S., Q. GE, F. WANG, X. WEN, y J. HUANG. 2013. Abrupt Climate Changes of Holocene. *Chinese Geographical Science* 23, no. 1: 1–12.
- WARDLAW, F., I.A. DAWSON, y P. MUNIBI. 1989. The Tolerance of Wheat to High Temperatures during Reproductive Growth II. Grain Development. *Australian Journal of Agricultural Research* 40-41: 15–24.
- WASHBURN, D.K. 2001. Remembering Things Seen: Experimental Approaches to the Process of Information Transmittal. *Journal of Archaeological Method and Theory* 8, no. 1: 67–99.
- WATERBOLK, H.T. 1971. Working with Radiocarbon Dates. *Proceedings of the Prehistoric Society* 37: 15–33.
- WATTS, D. 2003. *Six Degrees: The Science of a Connected Age*. New York: Norton.
- WENINGER, B., E. ALRAM-STERN, E. BAUER, L. CLARE, U. DANZEGLOCKE, O. JÖRIS, C. KUBATZKI, G. ROLLEFSON, H. TODOROVA, y T. VAN ANDEL. 2006. Climate Forcing due to the 8200 Cal Yr BP Event Observed at Early Neolithic Sites in the Eastern Mediterranean. *Holocene Climate and Cultural Evolution in Late Prehistoric-Early Historic West Asia* 66, no. 3: 401–420.
- WHITEHEAD, H. 1998. Cultural Selection and Genetic Diversity in Matrilineal Whales. *Science* 282: 1708–1711.
- . 2005. Genetic Diversity in the Matrilineal Whales: Models of Cultural Hitchhiking and Group Specific Non-Heritable Demographic Variation. *Marine Mammal Science* 21, no. 1: 58–79.
- WHITEHEAD, H., P.J. RICHEYSON, y R. BOYD. 2002. Cultural Selection and Genetic Diversity in Humans. *Selection* 3: 115–125.
- WHITTAKER, L. 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs* 30: 279–338.
- WHITTLE, A., L. BARTOSIEWICZ, D. BORIĆ, P. PETTITT, y M.P. RICHARDS. 2002. In the Beginning: New Radiocarbon Dates for the Early Neolithic in Northern Serbia and South-East Hungary. *Antaeus*. 25: 63–118.

- WILENSKY, U. 1999. NetLogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling. Northwestern University, Evanston, IL. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>.
- WILLIAMS, A.N. 2012. The Use of Summed Radiocarbon Probability Distributions in Archaeology: A Review of Methods. *Journal of Archaeological Science* 39, no. 3: 578–589.
- WILSON, A.G. 2000. *Complex Spatial Systems: The Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis*. Harlow: Pearson Educational.
- WILSON, E.O. 1975. *Sociobiology: The New Synthesis*. Cambridge: Harvard University Press.
- WINTERHALDER, B., Y D.J. KENNETT. 2006. Behavioral Ecology and the Transition from Hunting and Gathering to Agriculture. En *Behavioral Ecology and the Transition to Agriculture*, ed. D.J. Kennett y B. Winterhalder, 1–21. Berkeley: University of California Press.
- WINTERHALDER, B., Y E.A. SMITH. 2000. Analyzing Adaptive Strategies: Human Behavioral Ecology at Twenty Five. *Evolutionary Anthropology* 9: 51–72.
- WOBST, H.M. 1974. Boundary Conditions for Paleolithic Social System: A Simulation Approach. *American Antiquity* 39: 147–178.
- . 2010. Discussant's Comments, Computer Simulation Symposium, Society for American Archaeology. En *Simulating Change: Archaeology into the Twenty-First Century*, ed. M. Lake y A. Costopoulos, 9–11. Foundations of Archaeological Inquiry. Salt Lake City: University of Utah Press.
- WOOLDRIDGE, M., Y N.R. JENNINGS. 1995. Intelligent Agents: Theory and Practice. *Knowledge Engineering Review* 10: 115–152.
- WYNN, T. 2005. Archaeology and Cognitive Evolution. *Behavioral and Cognitive Evolution* 25: 389–438.
- ZILHÃO, J. 1993. The Spread of Agro-Pastoral Economies across Mediterranean Europe: A View from the Far West. *Journal of Mediterranean Archaeology* 6, no. 1: 5–63.
- . 2000. From the Mesolithic to the Neolithic in the Iberian Peninsula. En *Europe's First Farmers*, ed. P.T. Douglas, 144–182. Cambridge: The press syndicate of the University of Cambridge.
- . 2001. Radiocarbon Evidence for Maritime Pioneer Colonization at the Origins of Farming in West Mediterranean Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98, no. 24: 14180–14185.
- . 2009. The Early Neolithic Artifact Assemblage from the Galeria Da Cisterna (Almonda Karstic System Torres Novas, Portugal). En *De Méditerranée et d'ailleurs...Mélanges Offerts À Jean Guilaine*, 821–835. Toulouse: Archives d'Écologie Préhistorique.
- . 2011. Time Is On My Side. En *The Dynamics of Neolithisation in Europe. Studies in Honour of Andrew Sherratt*, ed. A. Hadjikoimis, E. Robinson, y S. Viner, 46–65. Oxford: Oxbow Books.
- . 2014. Early Prehistoric Navigation in the Western Mediterranean: Implications for the Neolithic Transition in Iberia and the Maghreb. *Eurasian Prehistory* 11 (1-2): 185–200.
- ZILHÃO, J., Y A.F. CARVALHO. 2011. Galeria da Cisterna (rede Cárstica da Nascente do Almonda). *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 251–254.
- ZILHÃO, J., J. MAURÍCIO, Y P. SOUTO. 1991. A Arqueologia da Gruta do Almonda (Torres Novas). Resultados Das Escavações de 1988-89. En *Actas Das IV Jornadas Arqueológicas (Lisboa 1990) Das Arqueólogos Portugueses*,

161–171. Lisboa.

ZIMMERMAN, L.J. 1977. *Prehistoric Locational Behaviour: A Computer Simulation*. Reports of the State Archaeologist of Iowa. Iowa: University of Iowa Press.

ZUBROW, E. 1997. Clusters of Death, Pockets of Survival: Dynamic Modelling and GIS. En *Time, Process and Structured Transformation in Archaeology*, ed. S. van der Leeuw y J. McGlade, 216–253. London: Routledge.

ZVELEBIL, M. 2000. The Social Context of the Agricultural Transition in Europe. En *Archaeogenetics: DNA and the Populations Prehistory of Europe*, ed. C. Renfrew y K. Boyle, 57–79. Cambridge: McDonald Institute for Archaeological Research.

APÉNDICE A

LAS DATACIONES RADIOCARBÓNICAS

Apéndice A: Dataciones radiocarbónicas.

Nº ID	Area	Site	Lab	BP	ΔT	Level	SU	Life	Material	Kind	Quant	Specie	Reference
2938	(1) Italy-1	Favella	LTL202A	6956	75	Araico	E-20/3 I	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Undetermined	Tinë (2009)
2940	(1) Italy-1	Favella	Beta71633	6910	60	Araico	A-Z/4 VI	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Undetermined	Tinë (2009)
2937	(1) Italy-1	Favella	LTL778A	7003	55	Araico	G/3 IV	Short	Bone	AMS	S	Undetermined	Tinë (2009)
2941	(1) Italy-1	Favella	LTL203A	6890	50	Araico	E-30/4 II	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Undetermined	Tinë (2009)
2939	(1) Italy-1	Favella	Beta165482	6940	40	Araico	D-Y/4 XIII	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Undetermined	Tinë (2009)
2942	(1) Italy-1	Favella	LTL204A	6793	40	Araico	D-Y/4 II	Short	Bone	AMS	S	Undetermined	Tinë (2009)
3124	(1) Italy-1	Grotta Sant Angelo	Gif6724	6890	70			Short	Seed/Fruit			Cereal	Collina (2009)
	(1) Italy-1	Torre Sabea	Media *	6925	92							Undetermined	
3122	(1) Italy-1	Torre Sabea	Ly1448	6860	45	Nivel 2	Fossa T-U/11-12	Short	Seed/Fruit	C		Undetermined	Guilaine y Cremonesi (2003)
3021	(1) Italy-1	Torre Sabea*	TAN88066	6960	130	Nivel 2	Fossa T-U/11-12	Short	Seed/Fruit	C		Undetermined	Guilaine y Cremonesi (2003)
3022	(1) Italy-1	Torre Sabea*	TAN88247	6890	130	Nivel 2	Fossa T-U/11-12	Short	Seed/Fruit	C		Undetermined	Guilaine y Cremonesi (2003)
3076	(1) Italy-1	Trasano	Ly1684	6815	45	I	3 niveau C2-4	Short	Bone			Undetermined	Banadora
3083	(1) Italy-1	Trasano	Ly3955	6935	40	I	ch2.4 AA-AB SUD	Short	Seed/Fruit			Undetermined	Banadora
3082	(1) Italy-1	Trasano	Ly3954	6835	40	I	ch2 3 AA44	Short	Seed/Fruit			Undetermined	Banadora
3080	(1) Italy-1	Trasano	Ly3952	6760	40	III?	ch1 AB46	Short	Seed/Fruit			Undetermined	Banadora
3077	(1) Italy-1	Trasano	Ly3949	6730	40	II?	ech. 2 A ch2 U48	Short	Seed/Fruit			Undetermined	Banadora
3081	(1) Italy-1	Trasano	Ly3953	6730	40	II?	ch2.2 AB42	Short	Seed/Fruit			Undetermined	Banadora
3079	(1) Italy-1	Trasano	Ly3951	6840	35	I	ch2 inf T44	Short	Seed/Fruit			Undetermined	Banadora
3078	(1) Italy-1	Trasano	Ly3950	6810	35	I	ech 3 CH2C U48	Short	Seed/Fruit			Undetermined	Banadora
3075	(1) Italy-1	Trasano	Ly3948	6710	35	II/III	Ech. 1 A CH1 U48-49	Short	Seed/Fruit			Undetermined	Banadora
3148	(1) Italy-1	Santa Ana	R322	6780	90		Trench A	Long	Charcoal				Muntoni (2003)
3149	(1) Italy-1	Piana di Curinga	R2946	6930	60			Long	Charcoal				Pinhasi et al. (2005)
3150	(1) Italy-1	Umbro	Beta122939	6750	50			Long	Charcoal				Bova Project
3151	(1) Italy-1	Umbro	Beta135147	6620	20			Long	Charcoal				Bova Project
3141	(1) Italy-1	Pulo di Molfetta	LTL142a	7134	60			Long	Charcoal				Fiorentino et al. (2013)
3121	(3) Italy-2	Copa Navigata	OxA1475	6880	90	II/III	CN	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Hordeum	Pinhasi et al. (2005)
3122	(3) Italy-2	Copa Navigata	OxA1474	6850	80	II/III	CN	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Hordeum	Fiorentino et al. (2013)
3140	(3) Italy-2	Lagnano da Piede	UCLA2148	6700	100	Fossato 1	Estrato 3-4	Short	Bone		S	Undetermined	Berger y Protsch (1989)
3105	(3) Italy-2	Masseria Candeliaro	OxA3684	6640	95	II	Q4	Short	Bone	AMS	S	Fauna	Casano y Manfredini (2004)

3107	(3) Italy-2	Masseria Candelaro	OxA9988	6605	45	II	Q3	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Undetermined	Casano y Manfredini (2004)
3108	(3) Italy-2	Masseria Candelaro	OxA9990	6555	45	II	Ze-5	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Undetermined	Casano y Manfredini (2004)
3106	(3) Italy-2	Masseria Candelaro	OxA12062	6638	34	II	Q-P3	Short	Bone	AMS	S	Sheep	Casano y Manfredini (2004)
3017	(3) Italy-2	Rendina	LJ 4549	6760	100	II	F4	Long	Charcoal			Undetermined	Manen y Sabatier (2003)
3018	(3) Italy-2	Rendina	LJ 4550	6670	100	II	F14					Undetermined	Manen y Sabatier (2003)
3060	(3) Italy-2	Ripa Tetta	CAMS2681 (Beta47808)	6890	60	B		Short	Seed/Fruit		A	Hordeum	Manen y Sabatier (2003)
3142	(3) Italy-2	Defensola	UtC1342	6990	80	A	Corridoio C	Long	Charcoal				Fiorentino et al. (2013)
3143	(3) Italy-2	Defensola	Beta71143	6740	80			Long	Charcoal				Fiorentino et al. (2013)
3144	(3) Italy-2	Torre Canne	Gif6725	6900	80		Trancheé A	Long	Charcoal				Radon
3145	(3) Italy-2	Scamuso	Gif7055	6810	80	IIIB	Sector 15, Layer 16	Long	Charcoal				Radon
3146	(3) Italy-2	Balsignano	KIA?	6602	30		T3						Fiorentino et al. (2013)
3147	(3) Italy-2	Balsignano	KIA?	6565	29		T3						Fiorentino et al. (2013)
2976	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	GifA101334	6790	90	III	US 5770	Long	Charcoal	AMS		Undetermined	Binder y Senepart (2010)
2975	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	GifA	6450	90	II	US 5557	Long	Charcoal	AMS		Undetermined	Binder y Senepart (2010)
2987	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	Ly5690	6550	80	III	C26C					Undetermined	Manen y Sabatier (2003)
2990	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	Ly6495	6565	75	III	C8R2	Long	Charcoal	C		Undetermined	Binder y Senepart (2010)
2986	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	Ly5340	6490	75	III	F2	Short	Seed/Fruit	C	S	Acorn	Binder y Senepart (2010)
2978	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	GrA20195	6790	50	III	US 5711	Long	Charcoal	AMS		Undetermined	Binder y Senepart (2010)
2983	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	GrA29403	6725	45	III	US 28889	Short	Seed/Fruit	AMS		Undetermined	Binder y Senepart (2010)
2984	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	GrA29528	6650	45	III	US 28889	Short	Seed/Fruit	AMS		Undetermined	Binder y Senepart (2010)
3104	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	LTL8006A	6649	45	III	US41678	Short	Seed/Fruit	AMS	A.	Cereal	Binder et al. (2014)
3103	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	LTL8005A	6599	45	III	US41678	Short	Seed/Fruit	AMS	A	Cereal	Binder et al. (2014)
2981	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	GrA26895	6605	40	III	US 2067	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Acorn	Binder y Senepart (2010)
2982	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	GrA26897	6500	40	III	US 2067	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Acorn	Binder y Senepart (2010)
2977	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	GifA32061	6450	40	II	H2	Short	Bone	AMS		Undetermined	Binder y Senepart (2010)
2979	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	GrA26893	6445	40	II	F1	Short	Bone	AMS		Undetermined	Binder y Senepart (2010)
2980	(7) Liguria/Prov.	Pendimoun	GrA26894	6440	40	II	F2	Short	Bone	AMS		Undetermined	Binder y Senepart (2010)
3091	(7) Liguria/Prov.	Arene Candide	LJ4144	6490	100	14	C 14 zone 03	Long	Charcoal			Undetermined	Facchinetti (2012)
3084	(7) Liguria/Prov.	Arene Candide	Beta110542	6830	40	15	US 10	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Hordeum	Binder y Senepart (2010)
	(7) Liguria/Prov.	Arma di Nasino	Media*	6431	80							Undetermined	
3048	(7) Liguria/Prov.	Arma di Nasino	R313	6420	65	IX	CIX	Long	Charcoal			Undetermined	Bagolini y Biagi (1990)
3042	(7) Liguria/Prov.	Arma di Nasino*	R267	6470	120	IX	CIX					Undetermined	Bagolini y Biagi (1990)
3049	(7) Liguria/Prov.	Arma di Nasino*	R313a	6400	105	IX	CIX	Long	Charcoal			Undetermined	Bagolini y Biagi (1990)

3002	(7) Liguria/Prov.	Fontbréguia	Gif2990	6700	100	Cardial	C47	Long	Charcoal	C	Undetermined	Shennan 2000 (online)
3007	(7) Liguria/Prov.	Fontbréguia	GrA38336	6390	40	Cardial	H2/9-10	Short	Bone	AMS	Human	Binder y Senepart (2010)
3125	(7) Liguria/Prov.	Grotte Cap Ragnon	Ly4173	6480	35			Short	Bone	AMS	Goat	Binder y Senepart (2010)
3036	(7) Liguria/Prov.	Grotte Pollera	MC757	6580	100	19-24	C23				Undetermined	Bagolini y Biagi (1990)
3020	(7) Liguria/Prov.	San Sebastiano di Perù	GrA25715	6760	45	Superficial		Short	Seed/Fruit	AMS	Cereal	Capelli et al. (2006)
2997	(12) Languedoc	Baume d'Oullins	ETH27972	6510	60	6		Short	Bone		Cattle	Van Willigen et al. (2008)
3057	(12) Languedoc	Grotte Gazel	GRN6702	6905	90	A	Porche F4	Long	Charcoal	C	Undetermined	Guilaine 1974
	(12) Languedoc	Camprafaud	Media *	6398	96						Undetermined	
3053	(12) Languedoc	Camprafaud *	Gif1491	6300	140	19	C19	Long	Charcoal		Undetermined	Rodriguez 1984
3052	(12) Languedoc	Camprafaud*	Gif3078	6480	130	19	C19	Long	Charcoal		Undetermined	Rodriguez 1984
2972	(12) Languedoc	La Grotte de Combe Obscure	Ly-423	6400	160	5		Long	Charcoal	C	Undetermined	Roudil y Saumade (1991)
3055	(12) Languedoc	Petro Signado	Ly8400	6840	65		St1	Long	Charcoal		Undetermined	Manen y Sabatier (2003)
3054	(12) Languedoc	Petro Signado	Ly8399	6770	55		St7	Long	Charcoal		Undetermined	Manen y Sabatier (2003)
3056	(12) Languedoc	Petro Signado	MC1652	6435	55			Long	Charcoal		Undetermined	Manen y Sabatier (2003)
3117	(12) Languedoc	Petro Signado	Ly5689 (sacA-13452)	6925	45			Short	Seed/Fruit		Cereal	Bernabeu et al. (en prensa)
3118	(12) Languedoc	Petro Signado	Ly5688 (sacA-13451)	6910	40			Short	Seed/Fruit		Cereal	Bernabeu et al. (en prensa)
3119	(12) Languedoc	Petro Signado	Beta330612	6770	40			Long	Charcoal		Undetermined	Bernabeu et al. (en prensa)
2953	(12) Languedoc	Pont de Roque-Haute	Lyon245 (oxa)	6745	70	Fosa1	H-1/22/23	Long	Charcoal	C	Undetermined	Guilaine et al. (2007)
2954	(12) Languedoc	Pont de Roque-Haute	Ly7607	6850	65	Fosa2	H-G/25	Long	Charcoal	C	Undetermined	Guilaine et al. (2007)
3126	(12) Languedoc	Pont de Roque-Haute	Ly9878	6820	35			Short	Seed/Fruit	A	Cereal	Bernabeu et al. (en prensa)
3129	(13) Catalonia	Can Fiuà	Beta280353	6260	40		CF-1	Short	Bone	AMS	Sheep	Oms (2014)
400	(13) Catalonia	Can Roqueta	CR*1 (Beta)	6400	50		CR-173	Short	Bone	AMS	Sheep	Oliva et al. (2008)
409	(13) Catalonia	Can Sadurni	UBAR760	6405	50	Capa 18	C18	Short	Seed/Fruit	C	Cereal	Blasco et al. (2011)
408	(13) Catalonia	Can Sadurni	OxA15488	6421	34	Capa 18	C18	Short	Seed/Fruit	AMS	T dicoocum	Blasco et al. (2011)
410	(13) Catalonia	Can Sadurni	OxA15489	6391	34	Capa 18	C18	Short	Seed/Fruit	AMS	T dicoocum	Blasco et al. (2011)
411	(13) Catalonia	Can Sadurni	OxA15491	6375	34	Capa 18	C18	Short	Seed/Fruit	AMS	T dicoocum	Blasco et al. (2011)
3130	(13) Catalonia	Cova Bonica	OxA23647	6158	32	IV	EC1	Short	Bone	AMS	Sheep	Oms (2014)
2837	(13) Catalonia	Cova Colomera	Beta279478	6180	40	CV 10	EC-1	Long	Charcoal	AMS	Boxwood	Oms et al. (2013)
2838	(13) Catalonia	Cova Colomera	OxA23634	6170	30	CE 14		Short	Seed/Fruit	AMS	Triticum aestivum	Oms et al. (2013)

739	(17) Xúquer-Segura	Cova d'en Pardo	Beta231880	6660	40	VIIIb	Short	Bone	AMS	S	Goat	García Atienzar (2009)
731	(17) Xúquer-Segura	Cova d'en Pardo	Beta231879	6610	40	VIII	Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	Soler et al. (2011)
732	(17) Xúquer-Segura	Cova d'en Pardo	Beta231877	6240	40	VII	Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	Soler y Roca de Togores (2008)
756	(17) Xúquer-Segura	Cova de l'Or	OxA10191	6265	75	Evento J3	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Zilhao (2001)
753	(17) Xúquer-Segura	Cova de l'Or	OxA10192	6310	70	Evento J2	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Zilhao (2001)
755	(17) Xúquer-Segura	Cova de l'Or	Beta298124	6275	70	Evento K4	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	García Borja et al. (2011)
752	(17) Xúquer-Segura	Cova de l'Or	Beta298125	6340	40	Evento K3	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	García Borja et al. (2011)
754	(17) Xúquer-Segura	Cova de l'Or	H1754/1208	6290	40	IV	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Marti 1978
757	(17) Xúquer-Segura	Cova de l'Or	Beta298126	6200	40	Evento J2	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	García Borja et al. (2011)
751	(17) Xúquer-Segura	Cova de l'Or	UCIAMS66316	6475	25	Evento K1	Short	Bone	AMS	S	Sheep	Marti (2011)
785	(17) Xúquer-Segura	Cova de la Sarsa	OxA236025	6399	35		Short	Bone	AMS	S	Cattle	García Borja et al. (2012a)
786	(17) Xúquer-Segura	Cova de la Sarsa	OxA236022	6389	33		Short	Bone	AMS	S	Cattle	García Borja et al. (2012a)
779	(17) Xúquer-Segura	Cova de la Sarsa	OxA26067	6506	32		Short	Bone	AMS	S	Sheep	García Borja et al. (2012a)
780	(17) Xúquer-Segura	Cova de la Sarsa	OxA26075	6420	32		Short	Bone	AMS	S	Sheep	García Borja et al. (2012a)
782	(17) Xúquer-Segura	Cova de la Sarsa	OxA239226	6341	30	Brecha	Short	Bone	AMS	S	Human	García Borja et al. (2011)
801	(17) Xúquer-Segura	Cova Cendres	GifA101360	6490	90	H16	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Bernabeu y Molina (2009)
815	(17) Xúquer-Segura	Cova Cendres	Beta75219	6420	80	H18	Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Bernabeu y Molina (2009)
793	(17) Xúquer-Segura	Cova Cendres	Beta107405	6280	80	H19	Short	Bone	AMS	S	Sheep	Bernabeu y Molina (2009)
816	(17) Xúquer-Segura	Cova Cendres	Beta75218	6260	80	H17	Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Bernabeu y Molina (2009)
802	(17) Xúquer-Segura	Cova Cendres	Beta142228	6340	70	H19	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Bernabeu y Molina (2009)
797	(17) Xúquer-Segura	Cova Cendres	Beta118025	6660	50		Long	Charcoal	AMS	S	Olive	Bernabeu y Molina (2009)
792	(17) Xúquer-Segura	Cova Cendres	Beta239377	6510	40	H19	Short	Bone	AMS	S	Sheep	Bernabeu y Molina (2009)

885	(17) Xúquer-Segura	Cova Fosca Ebo	OxA26047	6413	33	U-Z	Ilz	Short	Bone	AMS	S	Sheep	García Borja et al. (2012b)
1092	(17) Xúquer-Segura	El Barranquet	Beta239379	6510	50		UE 80 paleocanal	Short	Bone	AMS	S	Wildlife	Bernabeu et al. (2009)
1091	(17) Xúquer-Segura	El Barranquet	Beta221431	6510	50		UE 79 paleocanal	Short	Bone	AMS	S	Sheep	Bernabeu et al. (2009)
2004	(17) Xúquer-Segura	Mas d'Is	Beta166727	6600	50	Sector 80	80205	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Bernabeu et al. (2003)
2003	(17) Xúquer-Segura	Mas d'Is	Beta162092	6600	50	Sector 80	80219	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Hordeum	Molina et al. (2011)
2000	(17) Xúquer-Segura	Mas d'Is	Beta239378	6600	40	Sector 80	80224	Short	Charcoal	AMS	S	Monocot	Molina et al. (2011)
1995	(17) Xúquer-Segura	Mas d'Is	Beta166728	6400	40	Sector 52	52024	Long	Charcoal	AMS	S	Quercus sp.	Bernabeu et al. (2003)
1996	(17) Xúquer-Segura	Mas d'Is	Beta171906	6400	40	Sector 99	99026	Long	Charcoal	AMS	S	Quercus sp.	Bernabeu et al. (2003)
1997	(17) Xúquer-Segura	Mas d'Is	Beta162093	6160	40	Sector 100	100209	Long	Charcoal	AMS	S	Quercus sp.	Bernabeu et al. (2003)
2137	(17) Xúquer-Segura	Novelda C.U.	Beta227572	6390	40	túnico	E 100	Long	Charcoal	AMS	S	Quercus sp.	G. Atienzar et al. (2006)
2959	(19) Andalucía Occ.	Cabecicos Negros§	Beta347627	6550	50	I		Short	Shell	AMS	S	Cockle	Socas y Calamich (2013)
2960	(19) Andalucía Occ.	Cabecicos Negros§	Beta336255	6490	50	I		Short	Shell	AMS	S	Cockle	Socas y Calamich (2013)
2961	(19) Andalucía Occ.	Cabecicos Negros§	Beta336258	6360	50	I		Short	Shell	AMS	S	Cockle	Socas y Calamich (2013)
2875	(19) Andalucía Occ.	Cariguela	Coll1565	6749	39	16	CIII (N1)	Short	Bone	AMS	S	Cattle	Mednev (2013)
2873	(19) Andalucía Occ.	Cariguela	Coll1566	6482	39	15	CIII (N1)	Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	Mednev (2013)
2869	(19) Andalucía Occ.	Cariguela	Coll1564	6316	39	13	Area G (D)	Short	Bone	AMS	S	Sheep	Mednev (2013)
2871	(19) Andalucía Occ.	Cariguela	Coll1560	6350	32	14	Area G (D)	Short	Bone	AMS	S	Sheep	Mednev (2013)
460	(19) Andalucía Occ.	Cariguela	Pta9163	6260	20	14	CIV II	Short	Bone	AMS	S	Human	Fernandez et al. (2007)
1007	(19) Andalucía Occ.	Cueva de Nerja	Ly5218	6420	60	NV2	C-4 (vestíbulo)	Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Jordá y Aura (2008)
989	(19) Andalucía Occ.	Cueva de Nerja	Beta13577	6590	40	NV4	Fosa (vestíbulo)	Short	Bone	AMS	S	Sheep	Jordá y Aura (2006)
2808	(19) Andalucía Occ.	Cueva de Nerja	Beta270023	6330	40	NM7	Base VII (mina)	Long	Charcoal	AMS	A	Undetermined	Aguilera et al. (2012)
2952	(19) Andalucía Occ.	Cueva de Nerja	Beta369357	6300	40	NV3	(vestíbulo)	Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	García Borja et al. (2014)

2809	(19) Andalucía Occ.	Cueva de Nerja	OxA26085	6342	37	NM10	NM 10 (mina)	Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	Aura et al. (2013)
2866	(19) Andalucía Occ.	Cueva de Nerja	OxA26086	6466	33	NM12	Intrusión (mina)	Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	Aura et al. (2013)
2865	(19) Andalucía Occ.	Cueva de Nerja	OxA26084	6254	33	NM9	NM 9 (mina)	Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	Aura et al. (2013)
2864	(19) Andalucía Occ.	Cueva de Nerja	OxA26083	6252	33	NM9	NM 9 (mina)	Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	Aura et al. (2013)
1457	(19) Andalucía Occ.	Hostal Guadalupe	Wk25169	6298	30			Short	Bone	AMS	S	Human	Cortés et al. (2012)
1456	(19) Andalucía Occ.	Hostal Guadalupe	Wk25167	6249	30			Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	Cortés et al. (2012)
3140	(19) Andalucía Occ.	Hundidero-Gato	CNA1132	6270	50			Short	Bone	AMS	S	Human	Carrasco y Martínez-Sevilla (2014)
1878	(19) Andalucía Occ.	Los Castillejos	Ua36215	6310	45	I		Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Martinez et al. (2010)
1879	(19) Andalucía Occ.	Los Castillejos	Ua36214	6260	45	III		Short	Seed/Fruit	AMS	S	Goat	Martinez et al. (2010)
2378	(19) Andalucía Occ.	Roca Chica	Ua34135	6265	60			Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Cortés et al. (2012)
318	(22) Portugal-1	Cabranosa§	Sac1321	6550	70	NA	Hogar	Short	Shell	C	A	Mussel	Zilhão (2001)
507	(22) Portugal-1	Castelejo§	Beta168461	6450	65	Superior		Short	Shell	C	A	Limpets	Carvalho (2008)
2161	(22) Portugal-1	Padrao§	ICEN873	6570	70	NA	Hogar	Short	Shell	C	A	Clam	Zilhão (2000)
2162	(22) Portugal-1	Padrao§	ICEN645	6440	60	NA	Hogar	Short	Shell	C	A	Cockle	Zilhão (2000)
2356	(22) Portugal-1	R. Gaivotas§	Wk17029	6421	50	C2		Short	Shell	C	A	Barnacle	Carvalho (2008)
2507	(22) Portugal-1	Vale Boi	Wk17842	6095	45	C-II		Short	Bone	AMS	A	Sheep-goat	Carvalho (2008)
2523	(22) Portugal-1	Vale Santo 1§	Wk12139	6245	60	C1		Short	Shell		S	Thais	Carvalho (2008)
80	(23) Portugal-2	Almonda	OxA9287	6445	45	I	Cisterna-AMD2	Short	Bone	AMS	S	Ornament	Zilhao (2001)
81	(23) Portugal-2	Almonda	OxA9288	6445	45	I	Cisterna-AMD2	Short	Bone	AMS	S	Ornament	Zilhao (2001)
3139	(23) Portugal-2	Almonda	OxA28855	6280	34	I	Cisterna-AMD2	Short	Bone	AMS	S	Human	Martins et al. (en prensa)
238	(23) Portugal-2	Cabeço da Amoreira	Wk26796	6329	40	Enterramiento	CAM-01-01	Short	Bone		S	Human	Bicho et al. (2011)
322	(23) Portugal-2	Caldeirao	OxA1033	6130	90	NA II		Short	Bone	AMS	S	Human	Zilhão (1992)
320	(23) Portugal-2	Caldeirao	OxA1035	6330	80	NA II		Short	Bone	AMS	S	Sheep	Zilhão (1992)
321	(23) Portugal-2	Caldeirao	OxA1034	6230	80	NA II		Short	Bone	AMS	S	Sheep	Zilhão (1992)
467	(23) Portugal-2	Carrascal	Sac1949	6030	60	unico	camada	Short	Bone	AMS	S	Fauna	Cardoso (2011)
468	(23) Portugal-2	Carrascal	Beta276401	6280	40	unico	camada	Short	Bone	AMS	S	Cattle	Cardoso (2011)
463	(23) Portugal-2	Carrascal	Beta296583	6270	40	unico		Short	Bone	AMS	S	Sus	Cardoso (2011)
469	(23) Portugal-2	Carrascal	Beta276403	6230	40	unico	base camada	Short	Bone	AMS	S	Aurochs	Cardoso (2011)

466	(23) Portugal-2	Carrascal	Beta296582	6200	40	unico		Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	Cardoso (2011)
464	(23) Portugal-2	Carrascal	Beta296581	6190	40	unico		Short	Bone	AMS	S	Sus	Cardoso (2011)
465	(23) Portugal-2	Carrascal	Beta296584	6160	40	unico		Short	Bone	AMS	S	Sus	Cardoso (2011)
475	(23) Portugal-2	Casa da Moura	TO953	5990	60	Ia		Short	Bone	AMS	S	Human	Zilhão (2000)
1223	(23) Portugal-2	Encosta de Sant Anaş	Sac1990	6070	60		UE 5 fosa	Short	Shell	C	A	Mussel	Gibaja y Carvalho ed. (2010)
1433	(23) Portugal-2	G. do Correio-Mor	Sac1717	6330	60			Short	Bone	AMS	S	Human	Gibaja y Carvalho ed. (2010)
2192	(23) Portugal-2	Pena d'Água	ICEN1146	6390	150	EbBase		Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Zilhão (2001)
2935	(23) Portugal-2	Senhora da Alegria	Beta39602	6380	30	NA	Estructura XX	Long	Charcoal	AMS	S	Undetermined	Valera (2013)
2424	(23) Portugal-2	Senhora das Lapas	ICEN805	6100	70	Capa 3		Short	Bone	C	S	Human	Zilhão (2000)
48	(31) Ebro-1	Aizpea	GrN18421	6370	70	III		Short	Bone	C	A	Undetermined	Barandiarán y Cava (2001)
127	(31) Ebro-1	Aixoste	GrA9789	6220	60	IIIb		Short	Bone	AMS	S	Undetermined	Alday y García (1988)
1051	(31) Ebro-1	Cueva Lobrega	GrN16110	6220	100	III inferior		Short	Bone	C	A	Undetermined	Rodantés 1998
1127	(31) Ebro-1	El Mirador	Beta208134	6300	50		MIR 23	Short	Seed/Fruit	AMS	S	T dicocum	Vergés et al. (2008)
1129	(31) Ebro-1	El Mirador	Beta197385	6350	40	19-21	MIR 21	Long	Charcoal	AMS	S	Quercus sp.	Vergés et al. (2008)
1859	(31) Ebro-1	Los Cascajos	Ua24424	6380	60	Estructura 461	Estructura 461	Long	Charcoal	AMS	S	Juniperus sp.	García et al. (2011)
1867	(31) Ebro-1	Los Cascajos	Ua24427	6250	50	Estructura 516	Estructura 516	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	García et al. (2011)
1864	(31) Ebro-1	Los Cascajos	Ua24426	6230	50	Estructura 497	Estructura 497	Short	Bone	AMS	S	Human	García et al. (2011)
1858	(31) Ebro-1	Los Cascajos	Ua24428	6435	45	Estructura 551	Estructura 551	Long	Charcoal	AMS	S	Junipers sp.	García et al. (2011)
1926	(31) Ebro-1	Los Husos I	Beta161182	6240	60	XVI		Short	Bone	AMS	S	Fauna	Fernandez Eraso (2007-2008)
2026	(31) Ebro-1	Mendandia	GrN22741	6540	70	II		Short	Bone	C	A	Undetermined	Alday (2006)
2027	(31) Ebro-1	Mendandia	GrN22473	6440	70	I		Short	Bone	C	A	Undetermined	Alday (2006)
2212	(31) Ebro-1	Peña Larga	Beta242783	6720	40	IV		Short	Bone	AMS	S	Sheep-Goat	Fernandez Eraso 2011
3137	(32) Ebro-2	Balma Margineda	Beta255681	6630	40	IIIa	CIIIa	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Hazelnut	Oms (2014)
3138	(32) Ebro-2	Balma Margineda	Beta255682	6410	40	IIIb	CIIIbase	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Hazelnut	Oms (2014)
683	(32) Ebro-2	Chaves	GrN13603	6260	100	Ia		Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Utrilla y Baldeilou (1985)
681	(32) Ebro-2	Chaves	GrN13602	6330	90	Ia		Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Utrilla y Baldeilou (1985)
675	(32) Ebro-2	Chaves	GrN12683	6650	80	Ib		Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Utrilla y Baldeilou (1985)
678	(32) Ebro-2	Chaves	CSIC378	6460	70	Ib		Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Utrilla y Baldeilou (1985)
682	(32) Ebro-2	Chaves	GrN13605	6330	70	Ib		Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Baldeilou (2011)
676	(32) Ebro-2	Chaves	GrA34258	6530	40	Ib		Long	Charcoal	AMS	A	Undetermined	Utrilla et al. (2009)
677	(32) Ebro-2	Chaves	GrN13604	6490	40	Ib		Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Baldeilou (2011)
679	(32) Ebro-2	Chaves	GrA34257	6410	40	Ib		Long	Charcoal	AMS	S	Undetermined	Utrilla et al. (2009)

673	(32) Ebro-2	Chaves	GrA28341	6380	40	Ia		Short	Seed/Fruit	AMS	S	Acorn	Utrilla et al. (2009)
680	(32) Ebro-2	Chaves	GrA34256	6335	40	Ib		Long	Charcoal	AMS	A	Undetermined	Utrilla et al. (2009)
670	(32) Ebro-2	Chaves	GrA38022	6580	35	Ib		Short	Bone	AMS	S	Sheep	Baldellou (2011)
671	(32) Ebro-2	Chaves	UCTAMS66317	6470	25	Ib	Cuadro 10D	Short	Bone	AMS	S	Sheep	Baldellou (2011)
1292	(32) Ebro-2	Forcas II	Beta247404	6750	40	V - VI	V	Short	Bone	AMS	S	Deer	Utrilla et al. 2009
1293	(32) Ebro-2	Forcas II	Beta247405	6740	40	V - VI	VI	Short	Bone	AMS	S	Deer	Utrilla et al. 2009
1478	(32) Ebro-2	Huerto Raso	GrA21360	6310	60	B	Base	Long	Charcoal	AMS	S	Undetermined	Montes et al. (2000)
21	(33) Ebro-3	Abrigo de Ángel 2	Beta254048	6390	40	IIA		Short	Bone	AMS	S	Undetermined	Utrilla et al. (2009)
193	(33) Ebro-3	Botiqueria de los Moros	GrA13270	6240	50	VIII		Short	Bone	AMS	S	Undetermined	Barandiaran y Cava (2000)
190	(33) Ebro-3	Botiqueria de los Moros	GrA13268	6040	50	VI		Short	Bone	AMS	S	Fauna	Barandiaran y Cava (2000)
1603	(33) Ebro-3	La Lampara	KIA4780	6390	60	Estructura 1	Est. 1, niv. 3	Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Rojo y Kunst (1999)
1579	(33) Ebro-3	La Lampara	UtC13346	6280	50	Estructura 1	Est. 1 niv. 2	Short	Seed/Fruit	AMS	S	T. monococcum	Rojo et al. (2006)
1591	(33) Ebro-3	La Lampara	KIA6740	6144	46	Estructura 1	Est. 1, niv. 3	Short	Bone	AMS	S	Human	Rojo y Kunst (1999)
1592	(33) Ebro-3	La Lampara	KIA6790	6144	46	Estructura 1	Est. 1, niv. 3	Short	Bone	AMS	S	Human	Rojo y Kunst (1999)
1595	(33) Ebro-3	La Lampara	KIA21347	6407	34	Estructura 18	hoyo 18	Short	Bone	AMS	S	Fauna	Rojo et al. (2006)
1593	(33) Ebro-3	La Lampara	KIA6789	6055	34	Estructura 1	Est. 1, niv. 3	Short	Bone	AMS	S	Human	Rojo y Kunst (1999)
1596	(33) Ebro-3	La Lampara	KIA21352	6280	33	Estructura 9	hoyo 9	Short	Bone	AMS	S	Fauna	Rojo et al. (2006)
1597	(33) Ebro-3	La Lampara	KIA21348	6125	33	Estructura 11	hoyo 11	Short	Bone	AMS	S	Aurochs	Rojo et al. (2006)
1661	(33) Ebro-3	La Revilla	UtC13350	6210	60	Estructura 2	EST. 2	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Rojo et al. (2006)
1662	(33) Ebro-3	La Revilla	UtC13348	6120	60	Estructura 4	EST. 4	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Rojo et al. (2006)
1658	(33) Ebro-3	La Revilla	UtC13269	6250	50	Estructura 2	EST. 2	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Rojo et al. (2006)
1659	(33) Ebro-3	La Revilla	UtC13295	6250	50	Estructura 12	EST. 12	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Rojo et al. (2006)
1660	(33) Ebro-3	La Revilla	UtC13294	6240	50	Estructura 16	EST. 16	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Rojo et al. (2006)
1657	(33) Ebro-3	La Revilla	UtC13347	6313	48	Estructura 9	EST. 9	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Cereal	Rojo et al. (2006)
1679	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA13936	6335	46	Estructura 4	EST. 4	Long	Charcoal	AMS	S	Undetermined	Rojo et al. (2006)
1677	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA13937	6405	36	Estructura 4	EST. 4	Long	Charcoal	AMS	S	Undetermined	Rojo et al. (2006)
1652	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA21358	6365	36	Estructura 14	EST. 14	Short	Bone	AMS	S	Fauna	Rojo et al. (2006)
1678	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA13932	6385	35	Estructura 2	EST. 2	Long	Charcoal	AMS	S	Undetermined	Rojo et al. (2006)
1648	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA21359	6245	34	Estructura 4	EST. 4	Short	Bone	AMS	S	Sus	Rojo et al. (2006)
1651	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA21353	6156	33	Estructura 12	EST. 12	Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	Rojo et al. (2006)
1653	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA21351	6289	31	Estructura 4	EST. 4	Short	Bone	AMS	S	Fauna	Rojo et al. (2006)
1654	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA21357	6271	31	Estructura 14	EST. 14	Short	Bone	AMS	S	Fauna	Rojo et al. (2006)
1656	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA21346	6202	31	Estructura 2	EST. 2	Short	Bone	AMS	S	Fauna	Rojo et al. (2006)
1650	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA21354	6177	31	Estructura 13	EST. 13	Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	Rojo et al. (2006)

1681	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA21349	6158	31	Estructura 12	EST. 12	Short	Bone	AMS	S	Undetermined	Rojo et al. (2006)
1649	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA21356	6355	30	Estructura 4	EST. 4	Short	Bone	AMS	S	Sheep-goat	Rojo et al. (2006)
1655	(33) Ebro-3	La Revilla	KIA21355	6230	30	Estructura 13	EST. 13	Short	Bone	AMS	S	Fauna	Rojo et al. (2006)
1688	(33) Ebro-3	La Vaquera	GrA8241	6080	70		98	Short	Seed/Fruit	AMS	S	Acorn	Estremera y López (2003)
2288	(33) Ebro-3	Pontet	GrN14241	6370	70	C1	inferior	Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Mazo y Montes (1992)
2375	(33) Ebro-3	Riols I	C1	6040	100	A	A1	Long	Charcoal	C	A	Undetermined	Mazo y Montes (1992)
476	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta232890	6500	40	Pozo 16309	Pozo 16309	Long	Charcoal	AMS		Quercus ilex/con.	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
477	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta206512	6410	40	Pozo 2384	Pozo 2384	Long	Charcoal			Quercus ilex/con.	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
478	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta232884	6360	40	Pozo 7244	Pozo 7244	Long	Charcoal			Quercus ilex/con.	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
479	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta232886	6350	40	Pozo 7490	Pozo 7490	Long	Charcoal	AMS		Quercus ilex/con.	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
480	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta232893	6330	40	Pozo 9630	Pozo 9630	Long	Charcoal	AMS		Quercus ilex/con.	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
481	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta232891	6320	40	Pozo 8651	Pozo 8651	Long	Charcoal	AMS		Quercus ilex/con.	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
487	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta232887	6290	40	Pozo 7967	Pozo 7967	Long	Charcoal	AMS		Juniperps communis	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
488	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta232889	6290	40	Pozo 15849	Pozo 15849	Long	Charcoal	AMS		Juniperps communis	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
482	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta232885	6280	40	Pozo 7564	Pozo 7564	Long	Charcoal	AMS		Quercus ilex/con.	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
483	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta206513	6270	40	Pozo 2701	Pozo 2701	Long	Charcoal			Quercus ilex/con.	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
484	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta232892	6270	40	Pozo 9332	Pozo 9332	Long	Charcoal	AMS		Quercus ilex/con.	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
485	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta232888	6240	40	Pozo 8147	Pozo 8147	Long	Charcoal	AMS		Quercus ilex/con.	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
486	(36) Tajo-Spain	Casa Montero	Beta295152	6200	40	Pozo 15367	Pozo 15367	Short	Bone	AMS	S	Sheep (ornament)	Diaz del Rio y Consuegra (2011)
943	(36) Tajo-Spain	Cueva de la Higuera	Beta166230	6250	60	II		Short	Bone				Jimenez Gujjarro (2008)
1113	(36) Tajo-Spain	El Congosto	KIA27582	6015	50			Short	Bone	AMS	S	Human	Martin Bañón (2007)
2833	(36) Tajo-Spain	El Tonto	Beta317251	6230	30			Short	Bone	AMS	S	Sheep	Diaz del Rio (pers. Com)
1631	(36) Tajo-Spain	La Paleta	Beta223092	6660	60	Hoyo 219	Hoyo 219	Short	Seed/Fruit	AMS	A	Cerealia sp.	Jimenez Gujjarro (2008)
1629	(36) Tajo-Spain	La Paleta	Beta223091	5850	40	Hoyo 175	Hoyo 175	Short	Bone			Sheep	Jimenez Gujjarro (2008)
2578	(36) Tajo-Spain	La Ventana	Beta166232	6350	40	II inferior	UE 8	Short	Bone			Sheep	Jimenez Gujjarro (2010)
2579	(36) Tajo-Spain	La Ventana	Beta166231	6010	40	II superior	UE 7	Short	Bone			Human	Jimenez Gujjarro (2010)

Las dataciones que presentan el símbolo (§) indica que la fecha está hecha sobre mala-cofauna, mientras que si la fecha dispone de un asterisco (*) indica que las fechas se han combinado y se ha utilizado la media radiocarbónica. Las dataciones que presentan algunas celdas sombradas hacen referencia a que no se ha podido acceder a la información por diferentes motivos. Las dataciones del apéndice A se han ordenado siguiendo el criterio de región.

Bibliografía dataciones radiocarbónicas

- Aguilera, M., J.P. Ferrio, G. Pérez, J.L. Araus, y J. Voltas. 2012. Holocene Changes in Precipitation Seasonality in the Western Mediterranean Basin: A Multi-Species Approach Using $\delta^{13}\text{C}$ of Archaeobotanical Remains. *Journal of Quaternary Science* 27, no. 2: 192–202.
- Alcalde Gurt, G., M. Molist Montaña, y M. Saña Seguí. 2002. *Procés D'ocupació de La Bauma Del Serrat Del Pont (La Garrotxa) Entre 5480 I 2900 Cal AC*. Vol. 7. Publicacions Eventuals de La Garrotxa. Olot: Museu Comarcal de la Garrotxa.
- Alday, A. 2006. *El Legado Arqueológico de Mendandia: Los Modos de Vida de Los Últimos Cazadores En La Prehistoria de Treviño*. Arqueología En Castilla Y León 15. Valladolid: Junta de Castilla y León.
- Aura Tortosa, J.E., J.F. Jordá Pardo, P. García Borja, O. García Puchol, E. Badal García, M. Pérez Ripoll, G. Pérez Jordà, J.L. Pascual Benito, Y. Carrión Marco, y J.V. Morales Pérez. 2013. Una Perspectiva Mediterráneo Sobre El Proceso de Neolitización. Los Datos de La Cueva de Nerja En El Contexto de Andalucía (España). *Menga* 04: 53–78.
- Baldellou Martínez, V. 2011. La Cueva de Chaves (Bastarás-Casbas, Huesca). *Saguntum: Pa-peles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 141–144.
- Barandiarán Maestu, I., y A. Cava Almuzara. 2000. A Propósito de Unas Fechas Del Bajo Aragón: Reflexiones Sobre El Mesolítico Y El Neolítico En La Cuenca Del Ebro. *SPAL: Revista de Prehistoria Y Arqueología de La Universidad de Sevilla* 9: 293–326.
- Berger, R., y R. Protsh. 1989. UCLA Radiocarbon Dates XI. *Radiocarbon* 31: 55–67.
- Bernabeu, J. 2006. Una Visión Actual Sobre El Origen Y Difusión Del Neolítico En La Península Ibérica. In *8.000 Años de Ocupación Humana En La Cabecera Del Río de Alcoi*, ed. O. García Puchol y J.E. Aura Tortosa, 189–211. Alcoi: Museu d'Alcoi.
- Bernabeu, J., C. Manen, y S. Pardo Gordó. en prensa. Spatial and Temporal Diversity during the Neolithic Spread in the Western Mediterranean. The First Pottery Productions. In *Times of Neolithic Transition along the Western Mediterranean*, ed. O. García Puchol y D.C. Salazar García. Fundamental Issues in Archaeology. Springer.
- Bernabeu, J., F.J. Molina Hernández, T. Orozco Köhler, A. Diez Castillo, y M. Gómez Puche. 2003. Mas d'Is (Penàguila, Alicante): Aldeas Y Recintos Monumentales Del Neolítico Inicial En El Valle Del Serpis. *Trabajos de Prehistoria* 60, 2: 39–59.
- Bernabeu, J., L. Molina, M.A. Esquembre Bebia, J. Ramón, y J. de D. Boronat Soler. 2009. La Cerámica Impresa Mediterránea En El Origen Del Neolítico de La Península Ibérica. In *De Méditerranée et d'ailleurs...Mélanges Offerts À Jean Guilaine*, 83–95. Toulouse: Archives d'Écologie Préhistorique.
- Bernabeu, J., y Ll. Molina, eds. 2009. *La Cova de Les Cendres*. Serie Mayor 6. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.

- Bicho, N., J. Cascalheira, J. Marreiros, y T. Pereira. 2011. The 2008-2010 Excavations of Cabeço Da Amoreira, Muge, Portugal. *Mesolithic Miscellany* 21, 2: 3–13.
- Binder, D., C. Hamom, L. Bellot-Gurlet, S. Beyries, J. Pradeau, F. Vautier, y O. Voltaire. 2014. First Sculpted Human Face in the W.-Mediterranean Early Neolithic. *Cambridge Archaeological Journal* 24: 1–17.
- Binder, D., y I. Sénépart. 2010. La Séquence de l'Impresso-cardial de L'abri Pendimoun et L'évolution Des Assemblages Céramiques En Provence. In *Premières Sociétés Paysannes de Méditerranée Occidentale. Structures Des Productions Céramiques*, ed. C. Manen, F. Convertini, D. Binder, y I. Sénépart, 149–157. Mémoire Société Préhistorique Française 51. Paris: Société préhistorique française.
- Blasco, A., M. Edo, y M.J. Villalba. 2011. *La Cova de Can Sadurní I La Prehistòria de Garraf. Recull de 30 Anys D'investigació*. Begúes: Edar.
- Bosch Lloret, A., J. Chinchilla Sánchez, y J. Tarrús i Galter. 2011. *El Poblament Lacustre Del Neolític Antic de La Draga*. Vol. 9. Monografies Del CASC. Barcelona: Museu d'Arqueologia de Catalunya.
- Cámlich Massieu, y D. Martín Socas. 2013. Los Inicios Del Neolítico En Andalucía. Entre La Tradición Y La Innovación. *Menga* 4: 103–132.
- Capelli, C., E. Starnini, R. Cabella, y M. Piazza. 2006. Archaeometric Research on the Early Neolithic Pottery Production in Liguria (Northern Italy): Preliminary Data from San Sebastiano Di Perti (Sanova). *ArchéoSciences* 30: 89–94.
- Cardoso, J.L. 2011. A Estação Do Neolítico Antigo Do Carrascal (Oeiras, Lisboa, Portugal). *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 259–262.
- Carrasco Rus, J., y F. Martínez-Sevilla. 2014. Las Cronologías Absolutas Del Neolítico Antigo En El Sur de La Península Ibérica. Nuevas Dataciones. *Archivo de Prehistoria Levantina* XXX: 57–80.
- Carvalho, A. 2008. *A Neolitização Do Portugal Meridional: Os Exemplos Do Maciço Calcário Estremenho E Do Algarve Ocidental*. Vol. 12. Promontoria Monográfica. Faro: Universidade do Algarve.
- Cassano, S.M., y A. Manfredini. 2005. *Masseria Candelaro. Vita Quotidiana E Mondo Ideologico in Un Villaggio Neolitico Sul Tavoliere*. Foggia: Grenzi.
- Cebrià i Escuer, A., M. Fontanals i Torroja, P. Martín, J.I. Morales, F.X. Oms, A. Rodríguez-hidalgo, M. Soto, y J.M. Vergès Bosch. 2014. Nuevos Datos Para El Neolítico Antigo En El Nordeste de La Península Ibérica Procedentes de La Cova Del Toll (Moià, Barcelona) Y de La Cova de La Font Major (L'Espluga de Francolí, Tarragona). *Trabajo de Prehistoria* 71, 1: 134–145.
- Cebrià i Escuer, A., J.I. Morales, F.X. Oms, M. Pedro, A. Solé, y M. Subirà. 2011. “La Cova Foradada” (Calafell, Baix Penedès), La Problemática de La Convivencia En El Registro

- D'inhumacions I Cremacions Durant La Prehistòria Recent. In *La Cova de San Sadurni Y La Prehistòria de Garraf*, ed. A. Blasco, M. Edo, and M.J. Villalba, 411–420. Begués: Edar.
- Collina, C. 2009. Evolution Des Industries Lithiques Du Néolithique Ancien En Italy Du Sud. Roma: Université de Provence et Université de Roma – La Sapienza.
- Cortés Sánchez, M., F.J. Jiménez Espejo, M.D. Simón Vallejo, J.F. Gibaja Bao, A.F. Carvalho, F. Martínez-Ruiz, M.R. Gamiz, et al. 2012. The Mesolithic–Neolithic Transition in Southern Iberia. *Quaternary Research* 77, 2: 221–234.
- Díaz del Río Español, P., y S. Consuegra Rodríguez. 2011. Time for Action. The Chronology of Mining Events at Casa Montero (Madrid, Spain). In *Proceedings of the 2nd International Conference of the UISPP Commission on Flint Mining in Pre- and Protohistoric Times (Madrid, 14-17 October 2009)*, ed. M. Capote, S. Consuegra Rodríguez, P. Díaz del Río Español, y X. Terradas Batlle, 221–229. Oxford: BAR International Series 2260.
- Estremera Portela, M.S., y P. López García. 2003. *Primeros Agricultores Y Ganaderos En La Meseta Norte: El Neolítico de La Cueva de La Vaquera (Torreiglesias, Segovia)*. Junta de Castilla y León.
- Fernández Eraso, J. 2008. Establos de Cronología Neolítica En La Rioja Alavesa. In *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006*, ed. M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz, y J.A. López Padilla, 1:361–367. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.
- . 2011. Las Cerámicas Neolíticas de La Rioja Alavesa En Su Contexto: Los Casos de Peña Larga Y Los Husos I Y II. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 117–129.
- Fernández, S., N. Fuentes, J.S. Carrión, P. González-Sampériz, E. Montoya, G. Gil-Romera, G. Vega-Toscano, y J.A. Riquelme Cantal. 2007. The Holocene and Upper Pleistocene Pollen Sequence of Carihuela Cave, Southern Spain. *Geobios* 40, 1: 70–90.
- Fiorentino, G., M. Caldara, V. De Santis, C. D'Oronzo, I.M. Muntoni, O. Simone, M. Primavera, and F. Radina. 2013. Climate Changes and Human–environment Interactions in the Apulia Region of Southeastern Italy during the Neolithic Period. *The Holocene*.
- García Atienzar, G. 2009. *Territorio Neolítico: Las Primeras Comunidades Campesinas En La Fachada Oriental de La Península Ibérica (ca. 5600-2800 Cal BC)*. Oxford, England: BAR International Series 2021.
- García Atienzar, G., F.J. Jover Maestre, C. Ibáñez Sarrió, C. Navarro Poveda, y D. Andrés Díaz. 2006. El Yacimiento Neolítico de La Calle Colón (Novelda, Alicante). *Recerques Del Museu d'Alcoi* 15: 19–28.
- García Borja, P., J.E. Aura Tortosa, J.F. Jordá Pardo, y D.C. Salazar García. 2014. La Cerámica Neolítico de La Cueva de Nerja (Málaga, España): Salas Del Vestíbulo Y La Mina. *Archivo de Prehistoria Levantina* XXX: 81–131.

- García Borja, P., E. Cortell Pérez, S. Pardo Gordó, y G. Pérez Jordà. 2011. Las Cerámicas de La Cova de l'Or (Beniarrés, Alacant). Tipología Y Decoración de Las Colecciones Del Museu d'Alcoi. *Recerques Del Museu d'Alcoino*. 20: 71–136.
- García Borja, P., H. Martins, A. Sanchis Serra, y S. Pardo Gordó. 2012. Dataciones Radiocarbónicas En Contextos Del Neolítico Antiguo de La Cova Fosca de La Vall d'Ebo (Alacant, España). *Alberri: Quaderns D'investigacio Del Centre D'estudis Contestantsno*. 22: 11–32.
- García Borja, P., D.C. Salazar García, H.L. Martins, G. Pérez Jordà, y A. Sanchis Serra. 2012. Dataciones Radiocarbónicas de La Cova de La Sarsa (Bocairent, València). *Recerques Del Museu d'Alcoino*. 21: 19–24.
- García Gazólaz, J.A., J. Sesma Sesma, M.Á. Rojo Guerra, A. Alday Ruiz, R. Garrido Pena, y I. García-Martínez de Lagrán. 2011. Los Cascajos (Los Arcos, Navarra). *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 135–140.
- Gibaja Bao, Juan Francisco, y Antonio Faustino Carvalho, eds. 2010. *Os Últimos Caçadores-Recolectores E as Primeiras Comunidades Productoras Do Sul Da Península Ibérica E Do Norte de Marrocos*. Faro: Universidade do Algarve.
- Guilaine, J., y G. Cremonesi. 2003. *Torre Sabea: Un Établissement Du Néolithique Ancien En Salento*. Roma: École Française de Rome.
- Guilaine, J., C. Manen, y J.-D. Vigne. 2007. *Pont de Roque-Haute. Nouveaux Regards Sur La Néolithisation de La France Méditerranéenne*. Toulouse: Centre d'Anthropologie.
- Jiménez Guijarro, J. 2008. El Horizonte Cardial Del Interior de La Península Ibérica. In *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006*, ed. M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz, y J.A. López Padilla, 2:348–355. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.
- . 2010. *Cazadores Y Campesinos : La Neolitización Del Interior de La Península Ibérica*. Vol. 31. Bibliotheca Archaeologica Hispanica. Madrid: Real Academia de Historia.
- Jordá Pardo, J.F., y J.E. Aura Tortosa. 2006. Radiocarbono, Cronoestratigrafía Y Episodios Ocupacionales En El Pleistoceno Superior Y Holoceno de La Cueva de Nerja (Málaga, Andalucía, España). *Zona Arqueológica*. 7: 579–595.
- . 2008. 70 Fechas Para Una Cueva: Revisión Crítica Del 70 Dataciones C14 Del Pleistoceno Superior Y Holoceno de La Cueva de Nerja (Málaga, Andalucía). *Espacio, Tiempo Y Forma. Serie I: Prehistoria Y Arqueología* 1: 239–256.
- Kunst, M., y M.A. Rojo Guerra. 1999. La Lámpara Y La Peña de La Abuela: Propuesta Secuencial Del Neolítico En El Ámbito Funerario. Ed. Joan Bernabeu and Teresa Orozco. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. Extra 2. II Congreso de Neolítico Peninsular: 503–512.
- Martín Bañón, A. 2007. Espacios Domésticos Y de Almacenaje En La Confluencia de Los Ríos Jarama Y Manzanares. *Zona Arqueológica*. 10: 26–41.

- Martínez Fernández, G., J.A. Afonso Marrero, J.A. Cámara Serrano, y F. Molina González. 2010. Contextualización Cronológica Y Análisis Tecno-Tipológico de Los Artefactos Tallados Del Neolítico Antiguo de Los Castillejos (Montefrío, Granada). In *Os Últimos Caçadores-Recolectores E as Primeiras Comunidades Produtoras Do Sul Da Península Ibérica E Do Norte de Marrocos*, ed. J.F. Gibaja Bao y A.F. Carvalho, 163–171. Promontoria Monográfica, 15. Faro: Universidad do Algarve.
- Martins, H., F.X. Oms, L. Pereira, A.W. Pike, K. Rowsell, y J. Zilhão. en prensa. Radiocarbon Dating the Beginning of the Neolithic in Iberia: New Results, New Problems. *Journal of Mediterranean Archaeology*
- Martí Oliver, B. 1978. El Neolítico En La Península Ibérica. Estado Actual de Los Problemas Relativos Al Proceso de Neolitización Y Evolución de Las Culturas Neolíticas. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valencia* 13: 59–98.
- . 2011. La Cova de L'or (Beniarrés, Alicante). *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 183–186.
- Mazo, C y L. Montes. 1992. La transición epipaleolítico-neolítico antiguo en el abrigo de El Pontet (Maella, Zaragoza). En *Aragón/Litoral mediterráneo: intercambios culturales durante la Prehistoria*, ed. Pilar Utrilla, 243-254. Institución Fernando el Católico, Zaragoza.
- Medved, I. 2013. Continuity vs Discontinuity: Epipaleolithic and Early Neolithic in the Mediterranean Southeast of the Iberian Peninsula. Cologne: Universität zu Köln.
- Molist Montaña, M., O. Vicente Campos, y R. Farré. 2008. El Jaciment de La Caserna de Sant Pau Del Camp: Aproximació a La Caracterització D'un Assentament Del Neolític Antic. *QUARHIS* 4: 14–24.
- Montes Ramírez, L., R. Domingo Martínez, y J.A. Cuchí. 2000. Epipaleolítico Y Neolítico En Las Sierras Prepirenaicas de Aragón: Prospecciones Y Sondeos, 1998-2001. *Bolskan: Revista de Arqueología Del Instituto de Estudios Altoaragoneses*. 17: 87–123.
- Moutoni, I. 2012. Circulation of Raw Material, Final Products or Ideas in The Neolithic Communities of Southern Italy: The Contribution of Archaeometric Analyses to The Study of Pottery, Flint and Obsidian. *Rubricatum* 5: 403-411.
- Oliva Poveda, M., A. Palomo, N. Terrats Jiménez, X. Carlús i Martín, J. López Cachero, y A. Rodríguez. 2008. Las Estructuras Neolíticas de Can Roqueta (Sabadell, Barcelona). In *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006*, ed. M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz, y J.A. López Padilla, 1:157–167. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.
- Oms, F.X y JI. Morales. 2008. Cambrils al Neolític: Implantació i desenvolupament de les economies productores al Camp de Tarragona. Ajuntament de Cambrils.
- Oms, F.X. 2014. La Neolitització Del Nord-Est de La Península Ibèrica a Partir de Les Dacions de 14C I Les Primeres Ceràmiques Impreses c.5600-4900 Cal BC. Barcelona: Universitat de Barcelona.

- Oms, F.X., X. Esteve, J. Mestres i Mercadé, P. Martín, y H. Martins. 2014. La Neolitización Del Nordeste de La Península Ibérica: Datos Radiocarbónicos Y Culturales de Los Asentamientos Al Aire Libre Del Penedès. *Trabajos de Prehistoria* 71, 1: 42–55.
- Oms, F.X., J.M. López García, J. Mangado, P. Martín, S. Mendiola, J.I. Morales, M. Pedro, A. Rodríguez, A. Rodríguez-Cintas, y M. Yubero Gómez. 2013. Hàbitat En Cova I Espai Pels Ramats Ca. 6200-6000 BP: Dades Preliminars de La Cova Colomera (Prepirineu de Lleida) Durant El Neolític Antic. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 45: 25–38.
- Pinhasi, R., J. Fort, y A.J. Ammerman. 2005. Tracing the Origin and Spread of Agriculture in Europe. *PLoS Biol* 3, no. 12: e410.
- Rodanés Vicente, J.M. 1998. El Abrigo Del Els Secans (Mazaleon, Teruel). *Al-Qannis* 6: 1–107.
- Rodriguez, G. 1984. *La Grotte de Camprafaud: Contribution À L'étude Du Néolithique En Languedoc Central*. Montpellier: Office régional de la Culture du Languedoc-Roussillon.
- Rojo, M.A., M. Kunst, R. Garrido Pena, y I. García-Martínez de Lagrán. 2006. La Neolitización de La Meseta Norte a La Luz Del C-14: Análisis de 47 Dataciones Absolutas Inéditas de Dos Yacimientos Domésticos Del Valle de Ambrona, Soria, España. *Archivo de Prehistoria Levantina* XXVI: 39–100.
- Roudil, J.-L., y H. Sumade. 1991. *La Grotte de Combe Obscure, Lagorce Ardèche. Trois Millénaires de Vie Néolithique*.
- Sabatier, P., y C. Manen. 2003. Chronique Radiocarbone de La Néolithisation En Méditerranée Nord-Occidentale. *Bulletin de La Société Préhistorique Française*: 479–504.
- Soler Díaz, J.A., C. Ferrer García, C. Roca de Togores Muñoz, y G. García Atienzar. 2008. Cova d'En Pardo (Planes, Alicante). Un Avance Sobre La Secuencia Cultural. In *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006*, ed. M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz, y J.A. López Padilla, 1:79–89. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.
- Soler Díaz, J.A., O. Gómez Pérez, G. García Atienzar, y C. Roca de Togores Muñoz. 2011. Sobre El Primer Horizonte Neolítico En La Cova D'en Pardo (Planes, Alicante). Su Evaluación Desde El Registro Cerámico. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 201–212.
- Tiné, V. 2009. *Favella: Un Villaggio Neolitico Nelle Sibaritide*. Roma: Instituto Poligrafico e Zeca dello Stato.
- Torregrosa Giménez, P., F.J. Jover Maestre, y E. López Seguí. 2011. *Benàmer (Muro de Alcoi). Mesolíticos Y Neolítico En Tierras Meridionales Valencianas*. Trabajos Varios Del SIP 112. Valencia: Museu de Prehistòria.
- Utrilla Miranda, M. del P., y V. Baldellou Martínez. 1985. Nuevas Dataciones de Radiocarbono de La Prehistoria Oscense. *Trabajos de Prehistoria* 42, 1: 83–96.

- Utrilla Miranda, M.P., y L. Montes Ramírez. 2009. *El Mesolítico Geométrico En La Península Ibérica*. Monografías Arqueológica 44. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Valera, A. 2013. Recintos de Fossos Da Pré-História Recente Em Portugal: Investigação, Discursos, salvaguarda E Divulgação. *Al-Madam* 18: 93–110.
- Vergès Bosch, J.M., E. Allué, D.E. Angelucci, F. Burjachs i Casas, A. Carrancho Alonso, A. Cebrià i Escuer, I. Expósito Barea, et al. 2008. Los Niveles Neolíticos de La Cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos): Nuevos Datos Sobre La Implantación Y El Desarrollo de La Economía Agropecuaria En La Submeseta Norte. In *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006*, ed. M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz, y J.A. López Padilla, 1:418–427. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.
- Willigen, S. van, I. Hajdas, and G. Bonani. 2008. Nouvelles Données Concernant La Chronologie Interne Du Cardial Franco-Ibérique En France Méditerranéenne. In *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006*, ed. M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz, y J.A. López Padilla, 2:365–373. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.
- Zilhão, J. 1992. *Gruta Do Caldeirão- O Neolítico Antigo*. Lisboa: Instituto Português do Património Arquitectónico e Arqueológico.
- . 2000. From the Mesolithic to the Neolithic in the Iberian Peninsular. In *Europe's First Farmers*, ed. P.T. Douglas, 144–182. Cambridge: The press syndicate of the University of Cambridge.
- . 2001. Radiocarbon Evidence for Maritime Pioneer Colonization at the Origins of Farming in West Mediterranean Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98, no. 24: 14180–14185.

APÉNDICE B

COLECCIONES CERÁMICAS Y CODIFICACIÓN

Apéndice B: Colecciones cerámicas y codificación

En este apéndice se presentan los yacimientos arqueológicos utilizados, agrupados por regiones geográficas. En la segunda parte de esta documentación se presenta la descripción de cada técnica decorativa presentada en el capítulo 2, tabla 2.1.

Apéndice B1: Yacimientos arqueológicos***South of Italy 1 (region 1)***

Site	Level	Reference
Balsignano	T3	(Muntoni 2003)
Ciccotto	Saggio 17L	(Muntoni 2003)
Favella	Archaic	(Natali 2009)
Torre Sabea	A	(Guilaine and Cremonesi 2003)
Trasano	I, II	(Radi 2003)

South of Italy 2 (region 3)

Site	Level	Reference
Guadone	Unique	(Tinè and Bernabo Brea 1980)
M. Candelaro	II	(Cassano and Manfredini 2005)
Pulo di Molfetta	I, II	(Muntoni 2003)
Rendina	I, II	(Cipollini 1977)

Ligurian-Provençal arc (region 7)

Site	Level	Reference
A. Pendimoun	II, III	(Binder and Maggi 2001)
Arene Candide	14, 15	(Tinè 1999)
Caucade	7, 8	(Binder and Maggi 2001)
Fontbrégoua	I, II	(Binder and Maggi 2001)
S. Sebastiano di Perti	Superficial	(Capelli et al. 2006)

Languedoc (region 12)

Site	Level	Reference
Baume d'Oullins	6	(Roudil and Willigen 2002)
Combe Obscure	5	(Roudil and Sumade 1991)
G. Aigle	5	(Roudil and Soulier 1979)
G. Camprafaud	18	(Rodriguez 1984)
Peiro Signado	<i>Impressa</i>	Inédito. (Thanks to Dra. Claire Manen)
Pont Roque-Haute	<i>Impressa</i>	(Manen 2007)

Northeast of Iberia (region 13)

Site	Level	Reference
Can Roqueta	II	(Oliva Poveda et al. 2008)
Can Sadurni	Layer 18	(Blasco, Edo, and Villalba 2011)
Cova del Frare	VI	(Martín et al. 2010)
Cova del Toll	I Ib	(Manen 2000)
El Cavet	Pits 2012-2014	(Oms and Morales 2008)
Font Major	Ig	(Manen 2000)
Guixeres	A	(Oms 2014)
La Draga	I, II	(Bosch Lloret, Chinchill, and Tarrús 2011)
La Serreta	Pits	(Oms et al. 2014)
Sant Pau del Camp	Pits	Inédito (Thanks to Dr. Miquel Molist)

East of Iberia (region 17)

Site	Level	Reference
Cova d'en Pardo	VIII, VIIIb	(Soler Díaz et al. 2011)
Cova de l'Or	Event 1, 2 and 3	Inédito (Thanks to Dr. Joan Bernabeu)
Cova de les Cendres	H19, H18, H17	(Bernabeu and Molina 2009)
Cova Fosca d'Ebo	U-Z	(García Borja 2004; García Borja et al. 2012)
El Barranquet	<i>Impressa</i>	(Bernabeu et al. 2009)
Mas d'Is	House 2 and Ditch 6	Inédito (Thanks to Dr. Joan Bernabeu)

Southeast of Iberia (region 19)

Site	Level	Reference
Cabecicos Negros	I	(Cámalich Massieu and Martín Socas 2013)
Cueva de Nerja	Vestíbulo IV, Mina 10-12	(García Borja, Aura, and Jordá Pardo 2011; García Borja et al. 2014)
Cueva de la Cariguela	XVI, XV, XIV	(Medved 2013; Navarrete Enciso 1976)

Algarve, Portugal (region 22)

Site	Level	Reference
Padrão	-	(Carvalho 2008)
Cabranosa	-	(Carvalho 2008)

Tagus, Portugal (region 23)

Site	Level	Reference
Carrascal	Unique	(Cardoso 2011)
Gruta do Caldeirão	NII	(Zilhão 1992)
Pena d' Agua	Eb base	(Carvalho 2008)
Senhora da Alegria	NA	Inédito (Thanks to Dr. Antonio Varela)

Ebro Valley 1 (region 31)

Site	Level	Reference
Aizpea	III	(Barandiarán and Cava 2001)
Cueva del Mirador	19-23	(Vergès Bosch et al. 2008)
Mendandia	II	(Alday 2006)
Peña Larga	IV	(Fernández Eraso 2011)

Ebro Valley 2 (region 32)

Site	Level	Reference
Balma Margineda	III	(Guilaine and Mattzluff 1995)
Cueva de Chaves	Ib	(Baldellou Martínez 1985)
Forcas II	VI-V	(Montes 2014)

Ebro Valley 3 (region 33)

Site	Level	Reference
Abrigo de la Dehesa	UE 15	(Rojo et al. 2011)
Abrigo del Ángel	Ila	(Domingo, Bea, and Utrilla 2010, 2)
Botiquería de los Moros	VI-VIII	(Barandiarán and Cava 1978)
Costalena	C2	(Barandiarán and Cava)
La Lámpara	Pits	(García-Martínez de Lagrán 2012)
La Revilla del Campo	Pits	(García-Martínez de Lagrán 2012)
Plano del Pulido	cg	(Utrilla and Martínez Bea 2011)

Center of Iberia (region 36)

Site	Level	Reference
Casa Montero	Pits	Inédito (Thanks to Lluís Molina)
Cueva de la Higuera	II	(Jiménez Guijarro 2010)
Cueva de la Ventana	II	(Jiménez Guijarro 2010)
El Tonto		Inédito (Thanks to Dr. Pedro Díaz del Rio)
La Paleta	Pit 219	(Jiménez Guijarro 2010)

Bibliografía colecciones cerámicas

Alday, A. 2006. *El Legado Arqueológico de Mendandia: Los Modos de Vida de Los Últimos Cazadores En La Prehistoria de Treviño*. Arqueología En Castilla Y León 15. Valladolid: Junta de Castilla y León.

Baldellou Martínez, V. 1985. Comentario a Los Materiales Neolíticos. *Bolskan: Revista de Arqueología Del Instituto de Estudios Altoaragoneses* 1: 67–94.

Barandiarán Maestu, I. and A. Cava Almuzara. 1978. El Abrigo de Botiquería Dels Moros. Mazaleón (Teruel). Excavaciones Arqueológicas de 1974. *Cuadernos de Prehistoria Y Arqueología Castellonenses* 5: 49–138.

———. 2001. *Cazadores - Recolectores En El Pirineo Navarro. El Sitio de Aizpea Entre 8000 Y 6000 Años Antes de Ahora*. Veleia, Serie Mayor. Vitoria: Universidad el País Vasco.

———. *La Ocupación Prehistórica Del Abrigo de Costalena (Maella, Zaragoza)*. Colección Arqueología Y Paleontología 6. Zaragoza: Diputación General de Aragón.

Bernabeu, J., and L. Molina. 2009. La Cerámica En La Secuencia Neolítica de Cendres. In *La Cova de Les Cendres*, ed. J. Bernabeu and L. Molina, 55–84. Serie Mayor 6. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.

Bernabeu, J., L. Molina, M.A. Esquembre Bebia, J. Ramón, and J. de D. Boronat Soler. 2009. La Cerámica Impresa Mediterránea En El Origen Del Neolítico de La Península Ibérica. In *De Méditerranée et d'ailleurs...Mélanges Offerits À Jean Guilaine*, 83–95. Toulouse: Archives d'Écologie Préhistorique.

Binder, D., and R. Maggi. 2001. Le Néolithique Ancien de L'arc Liguro-Provençal. *Bulletin de La Société Préhistorique Française* 98, no. 3: 411–422.

Blasco, A., M. Edo, and M.J. Villalba. 2011. *La Cova de Can Sadurní I La Prehistòria de Garraf. Recull de 30 Anys D'investigació*. Begúes: Edar.

Bosch Lloret, A., J. Chinchilla Sánchez, and J. Tarrús i Galter. 2011. *El Poblat Lacustre Del Neolític Antic de La Draga*. Vol. 9. Monografies Del CASC. Barcelona: Museu d'Arqueologia de Catalunya.

Cámalich Massieu, and D. Martín Socas. 2013. Los Inicios Del Neolítico En Andalucía. Entre La Tradición Y La Innovación. *Menga* 4: 103–132.

Capelli, C., E. Starnini, R. Cabella, and M. Piazza. 2006. Archaeometric Research on the Early Neolithic Pottery Production in Liguria (Northern Italy): Preliminary Data from San Sebastiano Di Perti (Sanova). *ArchéoSciences* 30: 89–94.

Cardoso, J.L. 2011. A Estação Do Neolítico Antigo Do Carrascal (Oeiras, Lisboa, Portugal). *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 259–262.

Carvalho, A. 2008. *A Neolitização Do Portugal Meridional: Os Exemplos Do Maciço Calcário Estremenho E Do Algarve Ocidental*. Vol. 12. Promontoria Monográfica. Faro: Universidade do Algarve.

Cassano, S.M., and A. Manfredini. 2005. *Masseria Candelaro. Vita Quotidiana E Mondo Ideologico in Un Villaggio Neolitico Sul Tavoliere*. Foggia: Grenzi.

Cipollini, M. 1977. Gli Scavi Villaggio Neolitico de Rendina (1970-1976). *Origin XI*: 183–345.

Domingo, R., M. Bea, and P. Utrilla. 2010. Una Nueva Ocupación Neolítica En El Río Guadalope: La Campaña de 2009 En El Abrigo de Ángel 2. *Saldvie 10*: 225–235.

Fernández Eraso, J. 2011. Las Cerámicas Neolíticas de La Rioja Alavesa En Su Contexto: Los Casos de Peña Larga Y Los Husos I Y II. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 117–129.

García Borja, P. 2004. Anàlisis Tipològic D'una Col·lecció Ceràmica Prehistòrica Recuperada a La Cova Fosca de La Vall d'Ebono. 2004: 8–45.

García Borja, P., J.E. Aura Tortosa, and J.F. Jordá Pardo. 2011. La Cerámica Decorada Del Neolítico Antiguo de La Cueva de Nerja (Málaga, España): La Sala Del Vestíbulo. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 217–230.

García Borja, P., J.E. Aura Tortosa, J.F. Jordá Pardo, and D.C. Salazar García. 2014. La Cerámica Neolítico de La Cueva de Nerja (Málaga, España): Salas Del Vestíbulo Y La Mina. *Archivo de Prehistoria Levantina XXX*: 81–131.

García Borja, P., H. Martins, A. Sanchis Serra, and S. Pardo Gordó. 2012. Dataciones Radiocarbónicas En Contextos Del Neolítico Antiguo de La Cova Fosca de La Vall d'Ebo (Alacant, España). *Alberri: Quaderns D'investigacio Del Centre D'estudis Contestantsno*. 22: 11–32.

García-Martínez de Lagrán, I. 2012. El Proceso de Neolitización En El Interior Peninsular: La Submeseta Norte Y El Alto Valle Del Ebro. El Análisis de La Cerámica Como Herramienta Interpretativa. Valladolid: Univesidad de Valladolid.

Guilaine, J., and G. Cremonesi. 2003. *Torre Sabea: Un Établissement Du Néolitique Ancien En Salento*. Roma: École Française de Rome.

Guilaine, J., and M. Mattzluff. 1995. *Les Excavaciones a La Balma Margineda (1979-1991) Vol. I-III*. Monografies de Prehistoria de Andorra. Andorra: Govern d'Andorra.

Jiménez Guijarro, J. 2010. *Cazadores Y Campesinos : La Neolitización Del Interior de La Península Ibérica*. Vol. 31. Bibliotheca Archaeologica Hispanica. Madrid: Real Academia de Historia.

Manen, C. 2000. Le Néolitique Ancuen Entre Rhône et Ebre: Analyse Des Céramiques Décorées. Toulouse: Ecole des Hautes en Sciences Sociales.

———. 2007. La Production Céramique de Pont de Roque-Haute: Synthèse et Comparations. In *Pont de Roque-Haute. Nouveaux Regards Sur La Néolithisation de La France Méditerranéenne*, ed. J. Guilaine, C. Manen, and J.-D. Vigne, 151–166. Toulouse: Centre d'Anthropologie.

Martín, A., M. Edo, J. Tarrús, and X. Clop. 2010. Le Néolithique Ancien de Catalogne (VI-Première Moitié Du Ve Millénaire Av JC). Les Séquences Chronoculturelles. *Mémoires de La Société de Spéléologie* LI: 197–214.

Medved, I. 2013. Continuity vs Discontinuity: Epipaleolithic and Early Neolithic in the Mediterranean Southeast of the Iberian Peninsula. Cologne: Universität zu Köln.

Montes. 2014. Las Cerámicas Neolíticas Del Sector Oeste de Forcas II. In *La Peña de Las Forcas (Graus, Huesca): Un Asentamiento Estratégico En La Confluencia Del Ésera Y El Isábena*, ed. P. Utrilla and C. Mazo, 245–266. Monografías Arqueológicas. Prehistoria, 46. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

Muntoni, I.M. 2003. *Modellare L'argilla. Vasai Del Neolitico Antico E Medio Nelle Murge Pugliesi*. Florence: Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria,.

Natali, E. 2009. Le Cermiche Impresse Arcaiche. In *Favella: Un Villaggio Neolitico Nelle Sibaritide*, ed. V. Tiné, 227–311. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

Navarrete Enciso, M.S. 1976. *La Cultura de Las Cuevas Con Cerámica Decorada En Andalucía Oriental, Serie Monográfica 1, Granada*. Granada: Univesidad de Granada.

Oliva Poveda, M., A. Palomo, N. Terrats Jiménez, X. Carlús i Martín, J. López Cachero, and A. Rodríguez. 2008. Las Estructuras Neolíticas de Can Roqueta (Sabadell, Barcelona). In *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006*, ed. M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz, and J.A. López Padilla, 1:157–167. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.

Oms, F.X. 2014. La Neolitització Del Nord-Est de La Península Ibèrica a Partir de Les Dacions de 14C I Les Primeres Ceràmiques Impreses c.5600-4900 Cal BC. Barcelona: Universitat de Barcelona.

Oms, F.X., X. Esteve, J. Mestres i Mercadé, P. Martín, and H. Martins. 2014. La Neolitización Del Nordeste de La Península Ibérica: Datos Radiocarbónicos Y Culturales de Los Asentamientos Al Aire Libre Del Penedès. *Trabajos de Prehistoria* 71, no. 1: 42–55.

Oms, F.X., and J.I. Morales. 2008. *Cambrils Al Neolític: Implantació I Desenvolupament de Les Economies Productores Al Camp de Tarragona*. Cambrils: Ajuntament de Cambrils.

Radi, G. 2003. Trasano Basilicata. In *Le ceramiche impresse nel Neolitico antico in Italia e Mediterraneo*, ed M. Fugazzola, A. Pessina and V. Tiné, 695-705. Roma Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

Rodriguez, G. 1984. *La Grotte de Camprafaud: Contribution À L'étude Du Néolithique En Languedoc Central*. Montpellier: Office régional de la Culture du Languedoc-Roussillon.

Rojo, M.Á., R. Garrido Pena, I. García-Martínez de Lagrán, A. Alday Ruiz, J.A. García Gazólaz, and J. Sesma Sesma. 2011. El Valle de Ambrona Y La Provincia de Soria: La Lámpara, La Revilla Del Campo Y El Abrigo de La dehesa/Carlos Álvarez. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 105–108.

Roudil, J.-L., and M. Soulier. 1979. *La Grotte de l'Aigle a Mejanne-Le-Glap et Le Neolitique Ancien Du Languedoc Oriental*.

Roudil, J.-L., and H. Sumade. 1991. *La Grotte de Combe Obscure, Lagorce Ardèche. Trois Millénaires de Vie Néolithique*.

Roudil, J.-L., and S. van Willigen. 2002. *La Céramique Du Néolithique Ancien de La Baume d'Oullins (Le Garn, Gard)*. Ardèche Archéologie.

Soler Díaz, J.A., O. Gómez Pérez, G. García Atienzar, and C. Roca de Togores Muñoz. 2011. Sobre El Primer Horizonte Neolítico En La Cova D'en Pardo (Planes, Alicante). Su Evaluación Desde El Registro Cerámico. *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 201–212.

Tiné, S. 1999. *Il Neolitico Nella Caverna Delle Arene Candide (scavi 1972-1977)*. Bordighera: Istituto internazionale studi liguri.

Tiné, S., and M. Bernabo Brea. 1980. Il Villaggio Neolitico Del Guadone. *Rivista Di Scienze Preistoriche XXXV (1-2)*: 45–74.

Utrilla Miranda, M. del P., and M. Martínez Bea. 2011. Las Cerámicas Del Plano Del Pulido (Caspé, Zaragoza). *Saguntum: Papeles Del Laboratorio de Arqueología de Valenciano*. 12: 147–149.

Vergès Bosch, J.M., E. Allué, D.E. Angelucci, F. Burjachs i Casas, A. Carrancho Alonso, A. Cebrià i Escuer, I. Expósito Barea, et al. 2008. Los Niveles Neolíticos de La Cueva de El Mirador (Sierra de Atapuerca, Burgos): Nuevos Datos Sobre La Implantación Y El Desarrollo de La Economía Agropecuaria En La Submeseta Norte. In *IV Congreso Del Neolítico Peninsular: 27-30 de Noviembre de 2006*, ed. M.S. Hernández Pérez, J.A. Soler Díaz, and J.A. López Padilla, 1:418–427. Alicante: MARQ, Museo Arqueológico de Alicante.

Zilhão, J. 1992. *Gruta Do Caldeirão- O Neolítico Antigo*. Lisboa: Instituto Portugês do Património Arquitectónico e Arqueológico.

B2: Códigos técnicas decorativas base de datos

El apéndice B2 presenta los códigos asociados a las técnicas decorativas que hemos establecido en la base de datos, así como los que se indican en el cuadro 2.1 del trabajo de investigación. Se remarca en negrita nuestra codificación.

La referencia existente entre corchetes hace mención a la propuesta realizada por C. Manen (2002) para el Midi francés mientras que las llaves se refieren a la codificación planteada por el grupo de investigación dirigido por J. Bernabeu para el Mediterráneo peninsular y que puede consultarse en el *apéndice 4: la cerámica prehistórica. Metodología de análisis e inventario de los materiales* disponible en la monografía de la Cova de les Cendres (Bernabeu and Molina 2009).

Codificación técnicas

1. Relieves: En este grupo no se consideran los mamelones aislados utilizados como elemento de prensión. Cabe decir que también se incluyen todos los cordones internos y externos con independencia que hayan sido utilizados también como elementos de prensión.

11.- Apliques [14C] {11, 12, 13, 14}

12.- Cordones [14A y 14B] {21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29}

2. Conchas no cardiales: En esta serie de técnicas se aglutinan todas aquellas que el útil utilizado para realizar la decoración es una concha dentada o no, pero en ningún caso el *cardium edule*.

21.- Borde dentado: Perpendicular [5A] {36}

211.- Simple

212.- Pivotante

22.- Borde dentado: Pectem [5A] {36}

221.- Simple

222.- Pivotante

23.- Borde liso {35}

231 Simple [6A]

232 Pivotante [6A]

3. Grupo Cardial: En esta serie de técnicas se aglutinan todas aquellas que el útil utilizado para realizar la decoración es el *cardium*.

31.- Borde: Perpendicular [1A, 2A] {311}

32.- Dorso: Oblicuo [3A] {312}

33.- Pivotante [3D, 1C, 2D]

34.- Arrastre [1B, 2B, 3B, 2C, 3C] {33}

35.- Natis {32}

351.- Impresión Simple [4A]

352.- Arrastre [4B]

4. Ungulaciones y digitaciones: Consiste en decoraciones realizadas a partir del aplice con los dedos.

41.- Impresión Simple [12A y 13] {51}

42.- Dorso: Oblicuo [3A]

43.- Impresión pinzada {52}

5- Impresiones e incisiones de instrumento: En los conjuntos cerámicos se han constatado impresiones realizadas con un gran abanico de instrumento. Siguiendo las recomendaciones del trabajo utilizado como base, no se ha diferenciado por instrumento debido a la gran dificultad sino se hace hincapié al gesto y forma. En el caso específico de las incisiones la diferencia se sustenta en el momento que se realiza la incisión.

51.- Impresión Simple

511.- Punto [11A] {411}

512.- Trazo corto [10A] {412}

513.- Diversa [otras]

52.- Impresión secuenciada: Boquique y *sillon d'impressions* [7B, 8C, 9C, 10B, 11B] {413, 44}

53.- Arrastre [insición]

531.- Fina [9B] {611}

532.- Ancha “acanalada” [8B] {612}

533.- Esgrafiado {62}

6- Instrumento múltiple: Se ha decidido diferenciar la utilización del instrumento de punta múltiple, gradina, como una serie individualizada.

61.- Impresión Simple [7A] {43}

7- Pinturas y engobes: En los conjuntos cerámicos se ha constatado la utilización de la pintura y engobes. En este caso se ha diferenciado entre aquellas cerámicas que tienen restos de pintura y las que presentan restos de engobe.

71.- Pintura [15] {81}

72.- Incrustación [16] {84}

73.- Almagra {82}

8.- Peinada: Este grupo se caracteriza por un arrastre suave pero claramente marcado utilizando un útil dentado por la superficie del vaso.

8.- Peinada {7}



APÉNDICE C

ODD CULTURAL SPREAD MODEL

OVERVIEW

Purpose

The purpose of this model is to explore how cultural characteristics associated with the expansion of agriculture expand through time. The model was originally designed for the expansion of the Neolithic in the western Mediterranean, although it can be applied to any chronological time and geographic area. This cultural expansion model does not assume the existence of a preexisting population (in our case, a Mesolithic population). The model presents different algorithms of expansion and interaction between cells (more details below). This also presents different switches to store information according to the needs of the researcher (explained in detail below). Finally I should state that this expansion model has been programmed using the GIS extension. This extension allows the user to import base maps in raster format whose cells got different values associated with the potential of the cell in the cultivation of wheat or any other interesting values. Moreover it also can import vector files with information about archaeological sites.

State Variables & Scales

The model is a cell-based one, the cells contain the archaeological data: from either presence or absence of agriculture to cultural information related to each of them. In other words, each agent [cells] presents different variables associated with agricultural information, cultural information, temporal information and an ID of the virtual region. The gridding of the territory and the identification of regions is performed by introducing different raster files designed on a Geographic Information System (GIS). Because our model shows a second type of agent that corresponds to the archaeological sites and provides information associated with both location and time. These agents are only used when the user wants to implement the model to investigate the expansion of agriculture in the western Mediterranean. In other words, it is only used for comparing the arrival times of agriculture at the virtual world with those at the real world.

On temporal issues, the model can set the maximum number of *ticks* by input “*run-max*”, this will work provided the radiocarbon-spread question will not be explored, in such case the model has an automatic routine to stop the simulation if no suitable cells are available. In regard to cultural variables a series of selectors have been developed. The first of them, named “*combinaciones*”, is the number of cultural values -from the list- in each cell, the default slider value is 1. The second, named “*tecnicas*”, is the maximum number that the cultural values can get, and this is a random integer between 0 and n-1 (being n the total number of techniques selected).

Process Overview and Scheduling

Once the maps and associated databases are loaded into the model, the main processes are the diffusion of agriculture across the map and the cultural interaction between different agents. Functions used to disseminate and interact depend on the user defined settings and can only be used in a simulation case. Then, the different algorithms of expansion and interaction are presented.

The model has two main choosers, the first one, spread-type, to select the type of movement in which the simulation is performed, i.e. wave of advance or leapfrog. The second one to select the interaction process that will work through the simulation.

The model includes a group of sliders that are associated with the expansion process, the “*ecol-threshold*” one on top allows users to select the minimum ecological threshold for agriculture expansion while the second one, “*leap-distance*”, allows them to select the number of cells that can be jumped when the leapfrog movement is used.

Next, I implement two Neolithic groups dispersion processes.

Wave algorithm: This corresponds to the classical wave forward movement promulgated by Fischer (1937) and applied to the Neolithic expansion first by Ammerman and Cavalli-Sforza (1984). This algorithm implies that agriculture expansion is done from one agricultural cell to its neighboring cells that lack agriculture provided they are suitable for it.

Leapfrogging algorithm: This corresponds to the frog movement (Van Andel and Runnels 1995). This algorithm implies that agriculture expansion is done by jumping from any cell that has agriculture to any another randomly selected within a distance [established by a slider on the user interface] lacking agriculture and being suitable for it. In regard to interaction algorithms, it should be kept in mind that they work in relation to the expansion ones. All of them start on the basis of the hitchhiking hypothesis whose acceptance implies that along with the increase of the frequency of an advantageous gene, neutral genes that are linked to the selected one are also increased. The cultural analogy drawn in this model assumes that along with the opportunistic genes -”economic genes”: agriculture and domestic animals- there is also a selection of other neutral genes -”cultural genes”: ceramic styles.

Here I describe the three algorithms implemented.

Hitchhiking-drift: This corresponds to the implementation of the neutral model (Kimura 1968) where the main mechanism that affects the variability of a frequency drift is a trait. In this case the probability of replacement of a cultural value is set when the random number is greater than the μ value. This corresponds to the result of subtracting [innovation-rate] value to 1. The value of the ratio of innovation is defined in the user interface via a slider.

Hitchhiking-most-ancient: This corresponds to the implementation of the process of

copying a cell with an older foundation, i.e. the process of copying the cultural information residing in the “founder cell” which is defined in the code tab and incremented by 1 at each tick of the program. As before, the likelihood of replacement cultural value is set when the random number is greater than the value μ ; if the value is lower, the arrival cell adopts the higher cultural value of any “founder” patch in its surroundings [neighbors if the expansion process is wave of advance or patches at the set radius if leapfrog movement was selected].

Hitchhiking-most-common This algorithm corresponds to the implementation of another transmission process where a bias exists, what is called in the evolutionary literature “non-conformist transmission.” In this procedure the arrival cell copies the most common or most popular value of the surrounding ones. Like in the previous case, if the value is below μ , the cell in question adopts the cultural value of the highest “founder” value patch in its surroundings [neighbors if the expansion process is wave of advance or patches at the set radius if leapfrog movement was selected]. Finally, it should be noted that this algorithm only works properly if the slider “combinations” is set to 1, when the value is higher results are wrong.

DESIGN CONCEPTS

Emergency

The model is designed to study dispersal patterns of different cultural variables along the western Mediterranean, however it should be noted that, in the same way, this model also allows to study chronological and spatial patterns.

Perception

The cells are able to perceive two fundamental aspects: a) environmental suitability and b) cultural value. In other words, the model has the ability to select which cell to expand to based on ecological values and copy the cultural value from another cell having in consideration its cultural value and that of the origin cell.

Interaction

As described in the previous section (perception), agents interact with each other provided they have agriculture. The interaction in the model is direct, i.e. the interaction between the agents is direct because they change their cultural variable in relation to the selected agent, as long as the mutation rule of mutation is met (explained in *Process Overview & Scheduling*).

Stochasticity

In all dispersion modeling, direction and propagation time is stochastic. The cell that has received agriculture is compared with its neighbors having in consideration environmental suitability, and in the case that ecological values were the same between different neigh-

boring cells, the expansion is done randomly.

In regard to cultural questions are different stochastic issues that deserve attention. First, drift based interaction, a selection of the agents is provided based on a random process and when the basic premise (available agriculture) is met. Second, the interaction is based on common traits, the agent interacts if and adopts the common cultural value if the rule is fulfilled between the agents (or a ratio if leapfrog). If several cultural traits have the same number of agents, the selection is done at random.

Observation

Optionally, the model can save the results in *.csv (if a switch, or group of them, is activated). The model has four different outputs which users can select. All of them keep, in the file name, the expansion type and the process used, as well as relevant variables such as [techniques, combinations or innovation ratio value].

“output-C14?” [Radiocarbon-spread]: In order to work the model a vector file with archaeological sites should be loaded. The model keeps information about the Neolithic arrival to each site, and only one result for point is written to the output file. The output presents the results with a header that comes from the shapefile and as called “Arrival” field containing data about the arrival of the innovation [agriculture].

“Output-sensibilidad?” [Region-control]: This output can be used for sensitivity issues because it only keeps information about a given area; the one that is in the input “num-area-control”. In this the cultural information is written without brackets, and the output file has no header. The first column represents the tick number, while the remaining columns refer to cultural issues.

“output-combi?” [Region-combinacion]: This output has a loop to keep the information region by region. The procedure is the same as the sensitivity output, it keeps the cultural information without brackets and has no headers. And like in the previous case the first column represents the program time (ticks) and the remaining columns represent cultural values.

output-areas?” [Region-to-region]: This, like the previous one, has a loop to keep the information region by region. The output keeps the number of cells having the variable x , in other words it performs a count of patches with agriculture and any cultural variable - $X_0, X_1 \dots X_n$.- Like in the previous outputs no header is written, so the first count columns represent variables, while the latter two represent the tick number and the experiment number the latter being always 0 if the value Behavior-Space is not used.

Important: Users should check that the procedure is consistent counting the number of techniques that exist in the user interface. For example; if the value of the slider “tecnicas = 2”; the output should have the following series of commands:

file-print (word count region-patches With [var-cult sum = 0], count region-patches With [sum-cult var = 1], ticks, behaviorspace-run-number).

DETAILS

Initialization

To initialize a simulation, the user must first load the raster maps associated to the study area. Optionally, and if desired, a vector file with points (sites), that are considered of some interest, may be charged. Important: raster and vector layer must be in the same coordinates reference system (CRS).

Input

Base map and archaeological sites

The base map must be in ESRI ASCII format to be read by the GIS NetLogo extension: for example if the base map is constructed with GRASS-GIS it can be exported [with `r.out. arc`]. This model requires two base maps, the first of them refers to the growing wheat potential, whereas the second raster file is used to define the regions considered in the model.

The model features a slider that allows users to set the minimum threshold at which agriculture can be expanded, therefore the model assumes that the higher value indicates better suitability to wheat cultivation. In this sense, the model gradually colors the map between the highest value and the value set in the threshold. In regard to the regions map, in the interface users must specify the number of regions that have been defined, this value must be entered in the input “num-region-ASCII”

As for the archaeological sites, file vector points must be in ESRI Shapefile format. The model is programmed in such way that any attribute can be used in the output file of the simulation.

Users should specify the path where the rasters (* .asc) required to run the model are located. The size of the NetLogo world in cells can be adjusted through the input “world-max-dim” and users can indicate the size of the real world of the cells of GIS raster file using the field “GIS-grid -cell-km “. These are located in the user interface parameters in the group called world. We can say that the world is divided into cells of 5x5 km, which corresponds to a reasonable size to capture the first Neolithic groups (Barton et al. 2010) and a pragmatic compromise between geographical resolution and computational requirements.

If desired, a vector file (* .shp) with the information required by users can be loaded, in this case the model presents a dialog box to select the path where the vector file is located.

Point of Origin

The origin point must be entered interactively in the user interface by introducing the X and Y (coordinates Netlogo). By default, the model has the coordinates [X = 458] [Y = 111] corresponding to the location of the Early Neolithic archaeological site of Torre Sabea.

REFERENCES

Ackland, G.J., M. Signitzer, K. Stratford, and M.H. Cohen. 2007. Cultural Hitchhiking on the Wave of Advance of Beneficial Technologies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104, no. 21: 8714–8719.

Arcerbi, A and R.A. Bentley. 2014. Biases in cultural transmission shape the turnover of popular traits. *Evolution and Human Behavior* 35: 228-236

Barton, N.H. 2000. Genetic Hitchhiking. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 355, no. 1403: 1553–1562.

Barton, C.M., I.I.T. Ullah, and H. Mitasova. 2010. Computational Modeling and Neolithic Socioecological Dynamics: A Case Study from Southwest Asia. *American Antiquity* 75, no. 2: 364–386.

Boyd, R., and P.J. Richerson. 1985. *Culture and the Evolutionary Process*. Chicago: University of Chicago Press.

Mesoudi, A. 2011. *Cultural Evolution: How Darwinian Theory Can Explain Human Culture and Synthesize the Social Sciences*. Chicago: University of Chicago Press.

Whitehead, H. 2005. Genetic Diversity in the Matrilineal Whales: Models of Cultural Hitchhiking and Group Specific Non-Heritable Demographic Variation. *Marine Mammal Science* 21, no. 1: 58–79.

APÉNDICE D

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN: *Netlogo*

En el siguiente apéndice se detalla el código de NetLogo que ha sido programado y descrito en el capítulo 5. La versión del modelo de NetLogo que se discute a continuación es *cultural spread 1.6.nlogo* y los archivos necesarios para poder rodar el modelo han sido incorporados en el CD adjunto. Como se podrá observar a lo largo del presente apéndice se presenta el código en cursiva y el texto explicativo también está en cursiva pero presenta al inicio de la frase dos puntos y comas “;;” para diferenciar del código de programación *per se*.

Al inicio del archivo Netlogo es necesario establecer las extensiones que se utilizaran en nuestro modelo. En nuestro caso la única extensión que se utiliza es aquella que permite importar información SIG.

extensions [gis]

En nuestro modelo se han definido varias razas (*breed*) de agentes que corresponden a los yacimientos arqueológicos y el punto de origen.

breed [site-agents site-agent]

breed [start-points start-point]

La siguiente parte del código hace referencia a las variables específicas de cada grupo de agentes definidos: yacimientos y parcelas.

site-agents-own [

site-information ;;atributos datos GIS

site-arrival ;;ticks desde el inicio

]

patches-own [

var-agri ;;variable agricultura "gen ventajista"

var-cult ;;variable cultural "gen neutral"

ecol-index ;;variable ecología (externa-GIS)

patchtype ;;tipo de parcela

patch-arrival ;;tiempo desde el inicio

color-scale ;;color escalado del mapa

founder ;;tiempo de llegada de las variables culturales, este se

incrementa su valor en cada tick

region-number ;;variable localización geográfica (externa-GIS)

]

El siguiente grupo de variables corresponde a *globales*, que aquellas que necesita el modelo para rodar. Estas variables se diferencian de las variables propias de los agentes, que solo se actualizan por los agentes durante la simulación.

```

globals [
    suitable      ;;parcelas hábiles agricultura
    unsuitable    ;;parcelas no hábiles agricultura
    landmap       ;;nombre del archivo raster para expandirse (formato ESRI
ASCII)
    regionmap     ;;nombre del archivo raster para establecer regiones (formato
ESRI ASCII)
    sitesfile     ;;nombre del archivo vectorial asociado a yacimientos
(formato ESRI ASCII)
    basemap       ;;mapa base GIS para iniciar el mundo
    patch-size-km ;;tamaño parcelas mundo real
    maxindex      ;;valor máximo de la variable ecológica
    sites         ;;mapa con los yacimientos GIS
    sitefields    ;;nombre de los datos
    filebase      ;;tipo expansión para el fichero de salida
    use-sites     ;;guardar información sobre los yacimientos cargados desde
el archivo vectorial GIS
    parar-sim     ;;para la simulación (solo se asocia cuando se explorar los
parámetros expansión)
    interaction-count ;;recuento de las interacciones de cada proceso de
transmisión
]

```

La siguiente sección del código hace referencia a los procedimientos de inicialización de nuestro modelo de agentes. Esta se ha dividido en diferentes subsecciones, siendo la primera de ella la asociada a la simulación múltiple (*behavior-space*).

```

;;;;;INICIALIZACIÓN;;;;;

```

```

to setup-for-behavior-search ;carga la información automática para poder
    setup "/Users/spardo/Copy/Tesi/Modelo Netlogo/Ecological maps/ecol-europe.asc"
;;carga del ráster ecológico
    setup "/Users/spardo/Copy/Tesi/Modelo Netlogo/Ecological maps/region-map.asc"
;;carga del ráster de regiones
    load-sites "/Volumes/LaCie 1/salva/shapes/testing_sites.shp" ;;carga de los yacimientos
arqueológicos
end

```

La siguiente subsección de código hace referencia a la inicialización (carga) del modelo según los parámetros seleccionados en la interfaz del usuario.

to setup[filename]*clear-all ;;borra todo lo existente en la interfaz**set use-sites 0 ;;número de yacimientos utilizados al inicializar**ifelse empty? Filename**[setup-world ""] ;;cargar el mundo a partir del subprocesso "setup-world"**[setup-world filename] ;;carga el archivo ráster desde el Behavior Space o la**línea de comandos**set parar-sim false ;;procedimiento para parar la simulación**set interaction-count 0 ;;contar número de interacciones entre las patches = 0**if process = "hitchhiking-most-common" and combinaciones > 1**[user-message "Combinaciones debe ser 1" stop] ;;mensaje de error**reset-ticks ;;resetea el número de ticks***end**

La siguiente subsección de la programación se centra en la carga del mundo virtual, identificación de las parcelas hábiles y no hábiles para la agricultura y la coloración de las mismas.

to setup-world[filename] ;;carga el mundo utilizando un mapa base de GIS*;;Ajustar las dimensiones del mundo del Netlogo con el archivo GIS**let world-wd 0**let world-ht 0**set basemap gis:load-dataset "/Users/spardo/Copy/Tesi/Modelo Netlogo/Ecological maps/ecol-europe.asc" ;; carga ráster ecológico**set regionmap gis:load-dataset "/Users/spardo/Copy/Tesi/Modelo Netlogo/Ecological maps/region-map.asc" ;;carga ráster de regiones**;;redimensionar el mundo y unión de los diferentes rásteres.**let gis-wd gis:width-of basemap**let gis-ht gis:height-of basemap**ifelse gis-wd >= gis-ht**[set world-wd world-max-dim**set world-ht int (gis-ht * world-wd / gis-wd)]**[set world-ht world-max-dim**set world-wd int (gis-wd * world-ht / gis-ht)]**resize-world 0 world-wd 0 world-ht**gis:set-world-envelope (gis:envelope-union-of (gis:envelope-of basemap) (gis:envelope-of regionmap))**gis:apply-raster basemap ecol-index**gis:apply-raster regionmap region-number**set maxindex max [ecol-index] of patches with [not isNaN ecol-index]**;;identificación de las parcelas hábiles y no hábiles para la práctica agrícola en base a la variable ecológica y su umbral*

```

    ;;valores que provienen del archivo raster
    ;;la agricultura no puede expandirse en las áreas donde ecol-index < ecol-threshold
    ask patches [
      set var-agri 0
      set var-cult [ ]
      set founder 0
      Ifelse ecol-index >= ecol-threshold and not isNaN ecol-index
        [set patchtype "suitable"]
        [set patchtype "unsuitable"]
    ]
    ;;determinación del tamaño de las celdas en unidades del mundo real
    if GIS-grid-cell-km = "" or GIS-grid-cell-km <= 0 [set GIS-grid-cell-km 1] ;;si no hay
    especificación, por defecto 1km retícula raster
    set patch-size-km (gis-wd * GIS-grid-cell-km) / world-wd
    ;;escribe en el monitor el tamaño de las celdas
    output-print "tamaño parcela = " output-type patch-size-km output-print " km [reales]"
    ;;inicializar aquellas parcelas que no hábiles agricultura
    set unsuitable patches with [patchtype = "unsuitable"]
    ask unsuitable [
      ifelse isNaN ecol-index ;;solución para los valores nulos del GIS
        [set pcolor blue] ;;color de celda para los valores nulos
        [set pcolor grey] ;;color de celda para los valores no hábiles
    ]
    ;;inicializar aquellas parcelas hábiles agricultura
    set suitable patches with [patchtype = "suitable"]
    ask suitable [set pcolor scale-color green ecol-index (maxindex + 1) (ecol-threshold -
    1)]

    ;;introducir el punto de origen de la expansión
    origen
  end

```

La siguiente subsección de código se ha programado para poder cargar los yacimientos arqueológicos

```

to load-sites[filename]
  ;;carga un archivo vectorial de yacimientos y crea una tortuga (agent-sites) para cada
  uno de ellos

  ask site-agents [die] ;borra los yacimientos previamente cargados
  ifelse empty? filename [
    user-message "Selecciona el shapefile de los yacimientos (*.shp)" ;;carga el mapa de
    forma interactiva
    set sitesfile user-file ] [

```

```

set sitesfile filename ; cargar el mapa base desde el Behavior Space o la línea de
comandos
]
set sites gis:load-dataset sitesfile
set sitefields gis:property-names sites
let feature-list gis:feature-list-of sites
foreach feature-list [
  ::crea una tortuga para cada uno de los registros del archivo vectorial
  let sitepoint gis:centroid-of?
  let prop-list [ ]
  let this-feature ?
  foreach sitefields [ ;iterar a través de todos los datos que corresponden a cada
yacimiento y crea una lista que pueda pasar a los agentes
    let prop-field gis:property-value this-feature ?
    set prop-list lput prop-field prop-list
  ]
  let location gis:location-of sitepoint
  if not empty? location [
    create-site-agents 1 [ ;; inicializa un agente que representa un
yacimiento en la simulación
    setxy item 0 location item 1 location
    set shape "circle"
    set color red
    set size 3
    set site-information prop-list
    If [pcolor] of patch-here = blue [ ;;control para los yacimientos
situados en la costa, si están en rojo (salta un error)
      print "ERROR! yacimientos sobre el mar"
      print prop-list
      set color yellow
    ]
  ]
]
]
]
set use-sites 1
end

```

La penúltima subsección de la parte de inicialización del modelo se centra en la definición del punto de origen a partir del cual se inicia el proceso de expansión del Neolítico en el Mediterráneo occidental.

to origen

::crea una tortuga como marca del punto de inicio de la expansión

```
create-start-points 1 [
  set color red
  set shape "x"
  set size 5
  setxy X-coord Y-coord
]
```

::establece los valores culturales de las celdas

```
ask patches [
  set var-cult []
  repeat combinaciones [set var-cult fput 0 var-cult] ;crea una lista con longitud
= valor combinaciones y el valor de cada técnica es 0
```

```
]
::punto de origen expansión
```

```
ask patch X-coord Y-coord [
  set ecol-index max [ecol-index] of suitable
  set var-agri 1
  set var-cult []
  repeat combinaciones [set var-cult fput random tecnicas var-cult] ;selecciona
el numero de combinaciones y el valor de cada técnica
  ifelse sum var-cult = 0
  [repeat combinaciones [set var-cult fput random tecnicas var-cult]] ;si la suma
de la lista = 0 en el momento del setup, vuelve a reiniciar los valores del punto de origen
  []
  set founder 10
```

```
]
end
```

La última subsección que se asocia a los procedimientos de inicialización corresponde a la re-inicialización del modelo sin necesidad de cargar el mundo.

to reset-spread

::resetear los valores sin necesidad de recargar el GIS

::no requiere importar la capa vectorial

```
ask site-agents [
  set site-arrival 0
]
ct ;borra el punto de origen
ask suitable [
  set var-agri 0
  set var-cult []
```

```

        set patch-arrival 0
        set founder 0
    ]
    ask suitable [set pcolor scale-color green ecol-index (maxindex + 1) (ecol-threshold -
1)]

        origen ;carga el punto de origen
        set parar-sim false
        set run-max run-max
        if process = "hitchhiking-most-common" and combinaciones > 1
        [user-message "Combinaciones debe ser 1"
        stop]
    clear-all-plots
    reset-ticks
end

```

La siguiente sección del código hace referencia a los procedimientos de expansión y los procesos de interacción de nuestro modelo de agentes.

;;;;;;;;;PROCEDIMIENTOS DE EXPANSIÓN;;;;;;;;;

En primer lugar se presenta la definición de la expansión, en este caso se ha programado una rutina previa para comprobar que cuántas parcelas con agricultura presenta el modelo. Este fragmento de código se ha realizado poder disponer de una rutina de finalización automática de la simulación. La siguiente cuestión que se ha implementado en el código es la definición del tipo de expansión que se utilizará y según esta se nombra el archivo de almacenamiento. Cabe decir que cada tipo de expansión presenta un subsección específica, al igual que los archivos de salida de la información (csv).

to spread

```

let before count suitable with [var-agri = 1]
ask unsuitable [set var-agri 0]
ask suitable [
    ifelse var-agri = 0
    [
        ask site-agents-here [set site-arrival ticks]
        set patch-arrival ticks]
    [if ecol-index = 0 [set var-agri 0]
    ;selección expansión
    if spread-type = "wave" [wave set filebase "wave"]
    if spread-type = "leap-frog" [leap-frog set filebase "leap"]
    ifelse output-C14? = true

```

```

    [if ticks > 1 [set pcolor scale-color yellow patch-arrival 0 ticks]]
    [if ticks > 1 [set pcolor scale-color red patch-arrival 0 ticks]]
      ]
    ]
    let after count suitable with [var-agri = 1]
    if ticks > 9 and after <= before [set parar-sim true]
  end

```

En esta subsección se presenta el código que se ha diseñado para la expansión basada en la ola de avance. Debemos remarcar que dentro de cada proceso de expansión se realiza el proceso de interacción, aunque este presenta una subsección específica. El proceso de expansión es simple, en primer lugar se definen las variables culturales, y en segundo lugar se expande a todas las celdas vecinas si el límite ecológico es 0 o si este es > 0 se expande a las celdas que cumplan las reglas. Por otro lado una vez expandido se inicia el proceso de interacción, que según el seleccionado el la interfaz del usuario.

```

  to wave
    let threshold random (maxindex + 1)
      :establecer variables culturales
    let my-var-cult var-cult
    let anciest-var-cult var-cult
    let common-patch-var-cult var-cult
    ifelse threshold = 0
      [ask neighbors
        [set var-agri 1
          if process = "hitchhiking-drift" [hitchhiking my-var-cult]
          if process = "hitchhiking-most-ancient" [ancient-site-wave anciest-
var-cult]
          I
          if process = "hitchhiking-most-common" [most-common-wave common-
patch-var-cult]
        ]
      ]
    ]
    [if count neighbors with [ecol-index >= threshold] > 0
      [ask one-of neighbors with [ecol-index >= threshold] [ ;;se expande hacia las parcelas
que tienen índice ecológico válido
        set var-agri 1
        if process = "hitchhiking-drift" [hitchhiking my-var-cult]
        if process = "hitchhiking-most-ancient" [ancient-site-wave anciest-var-cult]
        if process = "hitchhiking-most-common" [most-common-wave common-patch-
var-cult]
      ]
    ]
  end

```

```

]
]
]
end

```

En esta subsección se presenta el código que se ha diseñado para la expansión basada en la expansión por salto (*leapfrog*). En este caso el funcionamiento es el mismo que el caso anterior, y la única diferencia existente es la selección de la celda de destino se realiza mediante un proceso estocástico a partir de la valor de distancia de salto.

to leap-frog

```

:seleccion de una parcela en dirección y distancia al azar dentro del valor de la variable
"salto"
  let rdir random 360
  let rdist random leap-distance
  :establecer del valor del threshold
  let threshold random (maxindex + 1)
  :establecer variables culturales
  let my-var-cult var-cult
  let anciest-var-cult var-cult
  let common-patch-var-cult var-cult
  :comprobar que la celda es válida para la expansión de la agricultura
  if patch-at-heading-and-distance rdir rdist != nobody
  and [patchtype] of patch-at-heading-and-distance rdir rdist = "suitable"
  and [ecol-index] of patch-at-heading-and-distance rdir rdist >= threshold ;se expande
  hacia las parcelas que tienen índice ecológico válido
  [let patch-destination patch-at-heading-and-distance rdir rdist
  ask patch-destination [
    set var-agri 1
    if process = "hitchhiking-drift" [hitchhiking my-var-cult]
    if process = "hitchhiking-most-ancient" [anciest-site-leap anciest-var-cult]
    if process = "hitchhiking-most-common" [most-common-leap common-patch-
var-cult]
  ]
]
end

```

La siguiente subsección del código se centra en lo diferentes procesos de interacción cultural. El primero de ello es el proceso de interacción basado en el *autoestop + drift* que pasamos a explicar. Una vez la parcela ha recibido el paquete neolítico (agricultura y cultura) esta debe decidir si mantiene la información cultural recibida cuando ha sido ocupada o bien

la modifica. Las parcelas modificaran el valor cultural siempre y cuando el valor aleatorio arrojado por el modelo sea mayor que μ (este valor se explicará en la parte del código correspondiente).

```
to hitchhiking [my-var-cult]
  ifelse random-float 1 >  $\mu$ 
    [set var-cult replace-item (random combinaciones) var-cult (random tecnicas)]
    [set var-cult my-var-cult]
  set interaction-count interaction-count + 1
end
```

El segundo proceso de interacción es el que se basa en *la copia del valor más antiguo*. Cabe decir que este proceso tiene dos subsecciones, la primera de ellas asociada a la expansión de la ola de avance y la segunda al *leapfrog*. No obstante el proceso de interacción es el mismo en ambos caso, solo se diferencian en el radio de acción: *wave* = celdas vecinas y *leap* = celdas seleccionadas en un radio dado en la interfaz. En primer lugar mediante una serie de variables locales (*let*) se definen que parcela es la más antigua entre las vecinas ó en un radio de acción. Una vez definida la parcela más antigua y las parcelas modificaran el valor cultural siempre y cuando el valor aleatorio arrojado por el modelo sea mayor que μ .

```
  :proceso de copiar al vecino más antiguo wave:
to ancient-site-wave [anceist-var-cult] ;copia al vecino más antiguo
  if count neighbors with [var-agri = 1 and sum var-cult > 0] > 0
    [let anciest max [founder] of neighbors with [var-agri = 1 and sum var-cult >
0]
      let anciest-patch one-of neighbors with [founder = anciest]
      let anciest-patch-var-cult 0
      ask anciest-patch [set anciest-patch-var-cult var-cult]
      ifelse random-float 1 >  $\mu$ 
        [set var-cult replace-item (random combinaciones) var-cult (random tecnicas)]
        [set var-cult anciest-patch-var-cult]
      set interaction-count interaction-count + 1
    ]
end
```

```
  :proceso de copiar al vecino más antiguo leap:
to ancient-site-leap [anceist-var-cult]
  set var-cult anciest-var-cult
  if count neighbors with [var-agri = 1 and sum var-cult > 0] > 0 [
    let anciest max [founder] of neighbors with [var-agri = 1 and sum var-cult > 0] in-
radius leap-distance
    if anciest != nobody [
```

```

    let anciest-patch one-of neighbors with [founder = anciest]
    let anciest-patch-var-cult 0
    ask anciest-patch [set anciest-patch-var-cult var-cult]

    ifelse random-float 1 >  $\mu$ 
      [set var-cult replace-item (random combinaciones) var-cult (random
tecnicas)]
      [set var-cult anciest-patch-var-cult]
    set interaction-count interaction-count + 1
  ]
]
end

```

El último proceso de interacción implementado es el que se basa en *la copia del valor más común*. Cabe decir que este proceso tiene dos subsecciones, la primera de ellas asociada a la expansión de la ola de avance y la segunda al *leapfrog*. No obstante el proceso de interacción es el mismo en ambos caso, solo se diferencian en el radio de acción: *wave* = celdas vecinas y *leap* = celdas seleccionadas en un radio dado en la interfaz. En primer lugar mediante un variable local y un *reporter* se define la variable más común y la parcela(s) que tienen esta característica. Al igual que el caso anterior, una vez definida la parcela más antigua y las parcelas modificaran el valor cultural siempre y cuando el valor aleatorio arrojado por el modelo sea mayor que μ .

```

:proceso de copiar al vecino más común wave:::
to most-common-wave [common-patch-var-cult]
  if count neighbors with [var-agri = 1] > 0
    [let common-var common
    let famous-patch one-of neighbors with [var-agri = 1 and sum var-cult > 0 and sum
var-cult = common-var]
    if famous-patch != nobody [
    let common-patch-cult 0
    ask famous-patch [set common-patch-cult var-cult]
    ifelse random-float 1 >  $\mu$ 
      [set var-cult replace-item (random combinaciones) var-cult (random tecnicas)]
      [set var-cult common-patch-cult]
    set interaction-count interaction-count + 1
  ]
]
end

:proceso de copiar al vecino más común leap
to most-common-leap [common-patch-var-cult]
  set var-cult common-patch-var-cult

```

```

    if count neighbors with [var-agri = 1] > 0 [
      let common-var common
      let famous-patch one-of neighbors with [var-agri = 1 and sum var-cult > 0 and sum
var-cult = common-var] in-radius leap-distance
      if famous-patch != nobody [
        let common-patch-cult 0
        ask famous-patch [set common-patch-cult var-cult]
        ifelse random-float 1 >  $\mu$ 
          [set var-cult replace-item (random combinaciones) var-cult (random tecnicas)]
          [set var-cult common-patch-cult]
        set interaction-count interaction-count + 1
      ]
    ]
  ]
end

```

La siguiente sección del código hace referencia a los diferentes reportes que se han programados. El primero de ellos se centra en reportar que valor es el más común, este reporte está ligado con el subproceso de interacción de copiar al más común. Este *reporter* funciona de la siguiente forma: cuenta el numero de vecinos con presencia de agricultura y valor cultural 1, 2 ... y establece como valor más común aquel valor cultural que presenta más celdas.

```

;;;;;REPORTERS;;;;;

```

to-report common ;;reporte para encontrar el valor más común

```

  let common-list [ ]
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 0 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 1 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 2 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 3 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 4 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 5 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 6 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 7 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 8 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 9 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 10 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 11 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 12 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 13 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 14 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 15 and var-agri = 1] common-list
  set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 16 and var-agri = 1] common-list

```

```

set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 17 and var-agri = 1] common-list
set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 18 and var-agri = 1] common-list
set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 19 and var-agri = 1] common-list
set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 20 and var-agri = 1] common-list
set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 21 and var-agri = 1] common-list
set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 22 and var-agri = 1] common-list
set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 23 and var-agri = 1] common-list
set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 24 and var-agri = 1] common-list
set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 25 and var-agri = 1] common-list
set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 26 and var-agri = 1] common-list
set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 27 and var-agri = 1] common-list
set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 28 and var-agri = 1] common-list
set common-list lput count neighbors with [sum var-cult = 29 and var-agri = 1] common-list
report position (max common-list) common-list
end

```

El siguiente reporter programado consiste en una rutina para poder controlar de forma sencilla la existencia o no de valores sin valor en nuestro modelo.

```

to-report isNaN [x] ;rutina para encontrar valores NaN
  report not (x > 0 or x < 0 or x = 0)
end

```

El siguiente reporter implementado consiste en un reporte para establecer el valor de μ , que resulta indispensable para la modificación o no del valor cultural. El valor μ corresponde a la resta entre 1 y el ratio de innovación seleccionado en la interfaz. Dicho de otro modo, si el valor de innovación corresponde a 0.004, el valor de μ es igual a $1 - 0.004$ que es igual a 0.096.

```

to-report  $\mu$  ;reporta el valor de innovación.
  report 1 - innovation-rate
end

```

El último reporter implementado se asocia al archivo de salida, es decir, este reporte permite al modelo saber que interacción se está simulando y por extensión cuando se guardan los resultados, el archivo de salida se nombra según el proceso utilizado.

```

to-report filebase-process
  if process = "hitchhiking-drift" [report "drift"]
  if process = "hitchhiking-most-ancient" [report "anciest-site"]
  if process = "hitchhiking-most-common" [report "most-common"]
end

```

La siguiente sección del código hace referencia al proceso de simulación, y como funciona el modelo. Un tick del programa presenta el siguiente procedimiento: en primer lugar se testea que tipo de expansión funciona, si no hay interacción cultural o si. En el caso que se utilice la interacción el modelo parará el experimento cuando el número de ticks de la simulación es igual a la variable run-max, en el caso contrario la simulación finalizara cuando no haya más parcelas disponibles. En segundo lugar se inicia la expansión (se expande y en segundo lugar interacciona), a continuación actualiza variables y número ticks. Y finalmente guarda los resultados

```
;;;;;INICIAR LA SIMULACIÓN;;;;;
```

to go

:para la simulación en relación a la expansión / procedimiento funciona para testar el proceso de expansión.

```
  ifelse output-C14? = true
    [if parar-sim [
      update-arrival
      radiocarbon-spread
      print interaction-count
      stop]]
```

:para la simulación en el número que hay en "input" de la interface / procedimiento para las cuestiones culturales, ya que se le indica el número máximo de pasos que debe hacer antes de detener la simulación

```
  [if ticks = run-max [print interaction-count stop]]
```

:expansión y actualización de la llegada del neolitico

```
  spread
  update-founder
  tick
```

:guarda la información

```
  if output-areas? = true [region-to-region]
  if output-combi? = true [region-combinacion]
  if output-sensibilidad? = true [region-control]
```

end

La siguiente sección del código se centra en algunos procedimientos centrados en actualizar algunas variables como el tiempo de llegada, la antigüedad de la celda ocupada y la solución de los problema de momento de la colonización, si procede.

```
;;;;;OTROS PROCEDIMIENTOS;;;;;
```

to update-arrival ;si por alguna razón la expansión no llega a un yacimiento, el valor de llegada lo establece a partir del cálculo de la media de llegada en las parcelas vecinas.

```

foreach (list site-agents) [
  ask ? [
    if site-arrival = 0 [
      set site-arrival mean [patch-arrival] of neighbors]
    ]
  ]
]

```

end

to update-founder ;actualiza el valor de llegada del neolítico sumando el valor del tick-year

```
ask patches with [var-agri = 1] [ set founder founder + 1]
```

end

La última sección de nuestro modelo se centra en como guardar los resultados. Como se ha descrito en el capítulo 5, existen diferentes formatos de almacenar los *outputs*, según nuestros intereses. El primer proceso de guardar información se ha implementado para guardar la información asociada al archivo vectorial (yacimientos arqueológicos). Este procedimiento se ha programado para guardar el tiempo de llegada de la agricultura.

to radiocarbon-spread ;solo guarda si output-yacimiento? = true / este output está programado para analizar cuestiones de radiocarbono

```

if use-sites = 0 [stop]
let filename (word filebase "_" filebase-process "_" lp"leap-distance"_"eco"ecol-
threshold ".csv")
file-open filename
let coma ","
let cabecera ""
if behaviorspace-run-number = 1 [
  foreach sitefields [
    set cabecera (word cabecera ? coma) ]
    set cabecera (word cabecera "LLEGADA")
    file-print cabecera
  ]
  foreach (list site-agents) [
    ask ? [
      foreach site-information [
        let value-to-print ?
        ifelse value-to-print = nobody
        [set value-to-print coma]
        [set value-to-print word ? coma]
        file-type (value-to-print)
      ]
    ]
  ]

```

```

    ]
    file-print (word site-arrival coma behaviorspace-run-number) ]
    ]
    file-close
    output-type "resultados guardados para " output-print filename
end

```

El segundo proceso de guardar información se ha implementado para guardar la información cultural tick a tick. Cabe destacar que solo se guarda la información asociada a las parcelas que presentan agricultura.

to region-to-region

```

    let max-region num-region-ASCII ;; hay que poner el número máximo de regiones que
tiene nuestro GRID
    let region-index 1

    while [region-index < max-region] [
        let region-patches patches with [ region-number = region-index]
        set region-patches region-patches with [var-agri = 1]
        if count region-patches > 0 [
            let output (word filebase " "lp"leap-distance" _"filebase-process" _"reg" _"region-index" _"t"tec
icas" _"m"innovation-rate".csv")
            let coma ","
            let cabecera ""
            file-open output
            file-print (word count region-patches with [sum var-cult = 0] coma count region-
patches with [sum var-cult = 1] coma count region-patches with [sum var-cult = 2] coma count
region-patches with [sum var-cult = 3] coma count region-patches with [sum var-cult = 4] coma count
region-patches with [sum var-cult = 5] coma count region-patches with [sum var-cult = 6] coma count
region-patches with [sum var-cult = 7] coma count region-patches with [sum var-cult = 8] coma count
region-patches with [sum var-cult = 9] coma count region-patches with [sum var-cult = 10] coma count
region-patches with [sum var-cult = 11] coma count region-patches with [sum var-cult = 12] coma
count region-patches with [sum var-cult = 13] coma count region-patches with [sum var-cult = 14]
coma count region-patches with [sum var-cult = 15] coma count region-patches with [sum var-cult =
16] coma count region-patches with [sum var-cult = 17] coma count region-patches with [sum var-cult
= 18] coma count region-patches with [sum var-cult = 19] coma count region-patches with [sum var-
cult = 20] coma count region-patches with [sum var-cult = 21] coma count region-patches with [sum
var-cult = 22] coma count region-patches with [sum var-cult = 23] coma count region-patches with
[sum var-cult = 24] coma count region-patches with [sum var-cult = 25] coma count region-patches
with [sum var-cult = 26] coma count region-patches with [sum var-cult = 27] coma count region-
patches with [sum var-cult = 28] coma count region-patches with [sum var-cult = 29] coma ticks coma
behaviorspace-run-number)

```

```

file-close
output-print output
]
set region-index region-index + 1
]
end

```

El tercer proceso de guardar la información, se ha implementado para guardar la información cultural de un determinado modo (sin corchetes) permitiendo poder guardar la información cuando el modelo se simula utilizado más de una combinación.

to region-combinacion

```

let max-region num-region-ASCII ;; hay que poner el número máximo de regiones que
tiene nuestro GRID en la interfaz
let region-index 1
while [region-index < max-region] [
  let region-patches patches with [ region-number = region-index]
  set region-patches region-patches with [var-agri = 1]
  if count region-patches > 0 [
    let output (word filebase "_" filebase-process "_" "exp"behaviorspace-run-
number_" "area"num-area-control_" "comb"combinaciones_" "lp"leap-distance_" "eco"ecol-
threshold_" "error"innovation-rate".csv")
    let coma ","
    file-open output
    ask region-patches
    [
      if is-list? var-cult and not empty? var-cult
      [ifelse length var-cult = 1
        [file-print (word ticks coma first var-cult)]
        [file-print (word ticks coma reduce [(word ?1 coma ?2)] var-cult)]
      ]
    ]
    file-close
    output-print output
  ]
  set region-index region-index + 1
]
end

```

Finalmente, el último proceso para guardar la información se ha programado para poder realizar resultados de salida asociados a una región (seleccionada en la interfaz). Este tipo de *outputs* nos permite utilizar solo determinada información para realizar análisis de sensibilidad

y aceleraciones de tiempo para comprobar y chequear si el modelo guarda correctamente los resultados que esta arrojando.

El tercer proceso de guardar la información, se ha implementado para guardar la información cultural de un determinado modo (sin corchetes) permitiendo poder guardar la información cuando el modelo se simula utilizado más de una combinación.

```

to region-control
  let region-patches patches with [ region-number = num-area-control]
  set region-patches region-patches with [var-agri = 1]
  let output (word filebase "_" filebase-process "_" "exp"behaviorspace-run-
number" _ ""area"num-area-control" _ ""comb"combinaciones" _ ""lp"leap-distance" _ ""eco"ecol-
threshold" _ ""error"innovation-rate".csv")
  let coma ","
  file-open output

  ask region-patches
  [
    if is-list? var-cult and not empty? var-cult
    [ifelse length var-cult = 1
      [file-print (word ticks coma first var-cult)]      ;(word ticks coma first
var-cult)
      [file-print reduce [(word ?1 coma ?2)] var-cult]      ;(word ticks coma
reduce [ (word ?1 coma ?2) ] var-cult)
    ]
  ]
  file-close
  output-print output
end

```

APÉNDICE E

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN [R]

En el siguiente apéndice se detalla los diferentes *scripts* programados para el tratamiento de los datos en bruto de nuestro modelo de expansión cultural. Como se podrá observar a lo largo del presente apéndice se presenta el código en cursiva y el texto explicativo también está en cursiva pero presenta al inicio de la frase el símbolo # para diferencia del código de programación *per se*. Cabe decir que en el presente apéndice solo se muestran partes del *script* debido a que presentar todo el código implicaría repetir numeras veces la misma lógica y debido a que el código completo puede ser consultado en el CD adjunto

El primero *script* se ha programado para separar los experimentos individualmente en cualquier directorio elegido por el investigador. Este fragmento de código permite observar como funciona el *script*: en primer lugar selecciona el directorio donde se sitúan los archivos en bruto y crea las variables donde se almacenará la información. En segundo lugar se ordenan los archivos por los campos elegidos [número de experimento y tick]. Finalmente, se selecciona el número de experimento y se exporta las nuevas tablas en formato csv.

```

setwd("/Users/spardo/Desktop/Prova/Wave_drift") # hay que sustituir el directorio
toout <-try(system("ls -F",inter=TRUE)) #carga nombre archivos con patrón

region<-NULL # archivo regiones
ordenado<-NULL # archivo ordenado
experiment<-NULL # archivo de almacenamiento
exp <- NULL # archivo de almacenamiento

system("mkdir Experimento") #crear directorio para guardar archivos
for (i in 1:length(toout))
{
region<- read.csv(toout[i],sep=",", header=FALSE)
ordenado <- region[order(region[,32], region[,31]),] # Ordenar
data<-table(ordenado$V32)
data<-as.data.frame(data) # establece un data.frame con el número de expe-
rimentos ordenados
exp <- 1
experiment<-subset(ordenado,ordenado$V32==data[exp,1])
write.table(experiment,file=paste("Experimento/",gsub("eco5_", "", toout[i]), "_expl.
csv",sep=""), col.names=TRUE,row.names=FALSE)
}

```

El segundo *script* se centra en la selección de las ventanas temporales y la ratio de mutación. En este fragmento de código se observa como funciona el *script*: en primer lugar, al igual

que en el caso anterior, se selecciona el directorio donde se sitúan los archivos en bruto y crea las variables donde se almacenará la información. En segundo lugar se crea el directorio donde se guardará la información generada por el *script*. A continuación se selecciona los archivos según la ratio de mutación y finalmente se realiza el bucle donde se guarda la información asociada a cada una de las ventadas y se exporta la información en formato csv.

```

setwd("/Users/spardo/Desktop/Prova/Wave_drift/Experimento")
totick <- try(system("ls -F",inter=TRUE))

gene <- NULL # archivo de almacenamiento
seixanta_tick <- NULL
vint_ticks <- NULL
cuarenta_ticks <- NULL
huitanta_ticks <- NULL
cent_ticks <- NULL
doscents_ticks <- NULL
trescents_ticks <- NULL
cuatrecent_ticks <- NULL

system("mkdir 20ticks") #crear directorio para guardar archivos
system("mkdir 40ticks")
system("mkdir 60ticks")
system("mkdir 80ticks")
system("mkdir 120ticks")
system("mkdir 240ticks")
system("mkdir 300ticks")
system("mkdir 480ticks")

files004 = grep('004', totick, perl=T) #selección de los archivos que terminen por "x"
mu4<- totick[files004]
files008 = grep('008', totick, perl=T)
mu8<- totick[files008]
files016 = grep('016', totick, perl=T)
mu16<- totick[files016]
files032 = grep('032', totick, perl=T)
mu32<- totick[files032]
files064 = grep('064', totick, perl=T)
mu64<- totick[files064]

```

```

for (i in 1:length(mu4))           #selección de la ventana temporales "x" y guardar los archivos
{
gene<- read.csv(mu4[i],sep=";", header=TRUE)
  vint_ticks <- gene[1:20,]
  cuarenta_ticks <- gene[1:40,]
  seixanta_tick <- gene[1:60,]
  huitanta_ticks <- gene[1:80,]
  cent_ticks <- gene[1:120,]
  doscents_ticks <- gene[1:240,]
  trescents_ticks <- gene[1:300,]
  quatrecents_ticks <- gene[1:480,]
  write.table(vint_ticks, file=paste("20ticks/",gsub(".csv","",mu4[i]),".csv",sep=""))
  write.table(cuarenta_ticks, file=paste("40ticks/",gsub(".csv","",mu4[i]),".csv",sep=""))
  write.table(seixanta_tick, file=paste("60ticks/",gsub(".csv","",mu4[i]),".csv",sep=""))
  write.table(huitanta_ticks, file=paste("80ticks/",gsub(".csv","",mu4[i]),".csv",sep=""))
  write.table(cent_ticks, file=paste("120ticks/",gsub(".csv","",mu4[i]),".csv",sep=""))
  write.table(doscents_ticks, file=paste("240ticks/",gsub(".csv","",mu4[i]),".csv",sep=""))
  write.table(trescents_ticks, file=paste("300ticks/",gsub(".csv","",mu4[i]),".csv",sep=""))
  write.table(quatrecent_ticks, file=paste("480ticks/",gsub(".csv","",mu4[i]),".csv",sep=""))
}

```

El tercer *script* se ha implementado para poder unificar por regiones la información obtenida en el paso anterior. Al igual que los casos anteriores, este *script* presenta una primera parte donde se selecciona el directorio de trabajo, se definen las variables donde se almacena la información y las secciones para poder seleccionar los archivos según región y valor de *mu*. Finalmente esta sección de código guarda un csv por cada una de las regiones virtuales definidas.

```

setwd("/Users/spardo/Desktop")      #directorio donde crear subdirectivos

system("mkdir 20ticks")              #crear directorio para guardar archivos
system("mkdir 40ticks")
system("mkdir 80ticks")
system("mkdir 60ticks")              #crear directorio para guardar archivos
system("mkdir 120ticks")
system("mkdir 240ticks")

```

```

setwd("~/Users/spardo/Desktop/Prova/Wave_drift/Experimento/20ticks") #directorio donde se trabaja
toColMeans <-try(system("ls -F",inter=TRUE))

files004 = grep('reg_1_m0.004', toColMeans, perl=T) #Selecciona las filas con los nombre
de los ficheros con mu 0.004
mu4<- toColMeans[files004]

data2 <- NULL #variables de almacenamiento
data3 <- NULL

for (i in 1:length(mu4)) #bucle para unificar las regiones y exportar los resultados en csv
{
  data2<- read.csv(mu4[i], header=TRUE, sep="")
  data3<- data2
  write.table(data3, file=paste("~/Users/spardo/Desktop/20ticks/20ticks_reg1_m004.
csv",sep=";"), append=TRUE, col.names=FALSE)
}

```

El cuarto *script* se ha implementado para calcular las medias culturales para cada región. En este caso, se utiliza la función *colmeans* que realiza el cálculo de la media por cada una de las columnas de nuestro archivo. El funcionamiento de este *script* es el mismo que en el caso previo, presenta directorios de trabajo, variables para almacenamiento los resultados y el bucle donde se calcula la media de la variable cultural.

```

setwd("~/Users/spardo/Desktop/")

system("mkdir m4_media")
system("mkdir m8_media")
system("mkdir m16_media")
system("mkdir m32_media")
system("mkdir m64_media")

setwd("~/Users/spardo/Desktop/20ticks/A")

toBR <-try(system("ls *csv",inter=TRUE))
open_files <- NULL #variables de almacenamiento
salva <- NULL

```

```

media <-NULL
media2 <-NULL
select <-NULL

files004 = grep('004', toBR, perl=T)
mu4<- toBR[files004]

for (i in 1:length(mu4))
  {
    open_files<- read.csv(mu4[i],header=FALSE, quote="'", sep="")
    salva <- na.omit(open_files)    ##salva <- open_files
    select <- salva[,2:31]
    media <- colMeans(select)
    media2 <- t(media)
write.table(media2,file=paste("/Users/spardo/Desktop/m4_media/",gsub(".csv","",mu4[i]),".csv",sep=""))
  }

```

La siguiente sección del código se centra en preparar las tablas con la información cultural [medias]. En este sentido, la estructura del *script* es el mismo que en los casos anteriores: directorios de trabajo y selección de los archivos correspondientes. En este caso el *script* une la información de todas las regiones virtuales por ventanas temporales.

```

setwd("/Users/spardo/Desktop/SI/m4_media")
system("mkdir result")

toBR <-try(system("ls *csv",inter=TRUE))

files20 = grep('^20ticks', toBR, perl=T)    #Selecciona las filas con los archivos que
inician por numero de tikcs (^ significa inicio del archivo)
mu20<- toBR[files20]

data2 <- NULL    #variables de almacenamiento
data3 <- NULL

for (i in 1:length(mu20))    #bucle para preparar las tablas para
  {
    data2<- read.csv(mu20[i],header=TRUE, quote="\\"")

```

```

data3<- data2
write.table(data3, file=paste("result/20ticks_m4.csv"), sep=";",append=TRUE, col.
names=FALSE, quote=F)
}

```

El siguiente *script* se ha implementado para calcular el coeficiente de Brainerd-Robinson, cabe decir que la mayor parte del código ha sido diseñado por M. Peeples (2011) y puede ser consultado en el siguiente sitio web [<http://www.mattpeeples.net/br.html>]. Las modificaciones que hemos realizado nosotros se han centrado en realizar diferentes bucles para automatizar los cálculos. Este *scrip* funciona sobre el paquete de R *Statnet*.

El séptimo *script* se ha implementado para convertir el coeficiente BR en una distancia cultural. En este caso, el código sigue el mismo criterio que en los casos anteriores presenta la lógica para trabajar con directorios así como las variables de almacenamiento. En este caso se utiliza la librería MASS para convertir los resultados de la distancia cultural en matrices.

```

library(MASS)
setwd("/Users/spardo/Desktop/Brainerd-Robinson/")
system("mkdir result_distancia")

sim_dist <-try(system("ls *csv",inter=TRUE))
data2 <- NULL #variables de almacenamiento
data3 <- NULL
data4 <- NULL

for (i in 1:length(sim_dist)) # bucle para convertir los BR en distancia cultural
{
  data2<- read.table(sim_dist[i], header=TRUE, quote="\"", row.names=1)
  data2 <- data2
  data3 <- (data2-200)* -1
  data4 <- as.matrix(data3)
  write.table(data4, file=paste("result_distancia/",gsub(".csv","",sim_dist[i]),".csv"),sep=";")
}

```

El último *script* se ha implementado para poder comparar diferentes matrices de datos. Es decir, esta sección de programación sirve para calcular el test de Mantel y el test de mantel parcial. La organización del *script* es el mismo que en los casos anteriores. En primer lugar se carga el paquete necesario para poder calcular el test de Mantel [`library vegan`], a continuación

se establecen los directorios de trabajo y las variables de almacenamiento de los resultados. Finalmente se ha programado el bucle para calcular el test de Mantel.

```

library(vegan)
setwd("/Users/spardo/Desktop/tomantel/")
system("mkdir mantel")
sim_mantel <- try(system("ls *csv",inter=TRUE))

sb3 <- NULL #variables de almacenamiento
sb4 <- NULL
result_mantel <- NULL
result <- NULL

for (i in 1:length(sim_mantel))# bucle para calcular el test de mantel (variable distancia y
cultural)
{
  sb3 <- read.table(sim_mantel[i], sep=';', header=T, row.names=1)
  sb4 <- read.table(file="/Users/spardo/Desktop/Chebychev_wave.csv", sep=';',
header=T, row.names=1)
  result_mantel <- mantel(as.matrix(sb3), as.matrix(sb4), permutations=10000) #test de
mantel sobre dos matrices
  result<-cbind(result_mantel$statistic,result_mantel$signif)
  write.table(result_mantel$statistic,file=paste("mantel/",gsub(".csv","",sim_
mantel[i]),"mantel.csv",sep=""),sep=";") #guarda solo el valor de R
  write.table(result_mantel$signif,file=paste("mantel/",gsub(".csv","",sim_
mantel[i]),"significacion.csv",sep=""),sep=";") #guarda solo la significación estadística (p-value)
  write.table(result, file=paste("mantel/",gsub(".csv","",sim_mantel[i]),".
csv",sep=""),sep=";")
}

```

