

ecoClimate vs. Worldclim: variables climáticas SIG para trabajar en biogeografía

S. Varela^{1,2,*}, L.C. Terribile³, G. de Oliveira⁴, J.A.F. Diniz-Filho⁵, J. González-Hernández⁶, M.S. Lima-Ribeiro³

(1) Departamento de Ciencias de la Vida, Edificio de Ciencias, Campus Externo, Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, Madrid, España.

(2) Museum für Naturkunde. Leibniz Institute for Evolution and Biodiversity Science. Invalidenstr. 43, 10115 Berlin, Alemania.

(3) Laboratório de Macroecologia, Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, Cx. Postal 03, 75804-020, Jataí, GO, Brasil.

(4) Laboratório de Biogeografia da Conservação e Comportamento Animal, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB), Setor de Biologia, Rua Rui Barbosa 710, Centro 44380-000, Cruz das Almas, BA, Brasil.

(5) Departamento de Ecologia, ICB, Universidade Federal de Goiás, Cx. Postal 131, 74001-970, Goiânia, GO, Brasil.

(6) Carmelitas Descalzos, 5. 45002, Toledo, España.

* Autor de correspondencia: S. Varela [svarela@paleobiogeography.org]

> Recibido el 10 de agosto de 2015 - Aceptado el 02 de noviembre de 2015

Varela, S., Terribile, L.C., de Oliveira, G., Diniz-Filho, J.A.F., González-Hernández, J., Lima-Ribeiro, M.S. 2015. ecoClimate vs. Worldclim: variables climáticas SIG para trabajar en biogeografía. *Ecosistemas* 24(3): 88-92. Doi.: 10.7818/ECOS.2015.24-3.11

Hasta la fecha los trabajos de macroecología y biogeografía han usado las variables climáticas de Worldclim (worldclim.org) para calibrar modelos de distribución de especies en el presente y proyectarlos a escenarios del pasado o del futuro. Sin embargo, al hacer esto estamos mezclando dos tipos de modelos climáticos diferentes, un modelo climático basado en una interpolación estadística de datos observacionales (Worldclim) y modelos de circulación global (modelos físicos que combinan submodelos 3D de circulación atmosférica, oceánica, modelos de vegetación, etc.). Metodológicamente hablando, calibrar un modelo usando un tipo de datos y proyectarlo usando otro tipo de datos, es incorrecto. Este problema nos ha llevado a crear una nueva base de datos climáticas, ecoClimate (<http://ecoclimate.org>), un repositorio online con variables bioclimáticas de 9 modelos climáticos diferentes con datos tanto para el presente, como para el pasado y para el futuro. De esta manera a partir de ahora ya se podrá utilizar el mismo tipo de modelo climático tanto en el presente como en el pasado o en el futuro. En este trabajo nos hemos centrado en describir desde un punto de vista práctico las variables, como trabajar con ellas en R y sus diferencias con las variables de worldclim.org.

Palabras clave: biogeografía; cambio climático; IPCC; macroecología; Worldclim.

Varela, S., Terribile, L.C., de Oliveira, G., Diniz-Filho, J.A.F., González-Hernández, J., Lima-Ribeiro, M.S. 2015. ecoClimate vs. Worldclim: GIS climatic variables for working in biogeography. *Ecosistemas* 24(3): 88-92. Doi.: 10.7818/ECOS.2015.24-3.11

Currently, researcher use Worldclim variables (worldclim.org) to calibrate ecological niche models (ENM) and then, they project those ENM into past or future climatic scenarios to map the species potential distribution in the past or in the future. The main problem of this approach is that past and future climatic scenarios are based on General Circulation Models (AOGCMs), which are based on physic models of climatic dynamics, and not on a statistic interpolation of weather stations (like Worldclim variables are). Calibrating a model using one type of climatic model (Worldclim) and projecting it into a different type of model (AOGCMs) is not correct. For that reason we decided to build a new dataset, ecoClimate (<http://ecoclimate.org>), an online repository with homogeneous climatic variables for the past, present and future, based on 9 different AOGCMs. Researchers can use these data to calibrate their models in the present, and project them into the past or future without any methodological problem.

Key words: biogeography; climate change; IPCC, macroecology, Worldclim

Proyecto ecoClimate

Presentamos ecoClimate, una base de datos con variables climáticas tanto para el presente, como para el pasado y para el futuro. Este proyecto surgió a raíz de nuestra necesidad de utilizar variables climáticas del pasado y del presente y poder compararlas entre sí. Nuestras líneas de investigación tratan sobre extinciones recientes (durante el Pleistoceno) y en muchas ocasiones hemos tenido que calibrar modelos de nicho (ENM: *Ecological Niche Models*) en el presente para, a partir de estos ENM, estimar la distribución potencial de una especie en el pasado (Barrientos et al. 2014; Collevatti et al. 2012; Lima-Ribeiro et al. 2012, 2013; Varela et al. 2010a, 2015a). Los ENM son modelos ecológicos que relacionan la distribución geográfica de una especie con sus requerimientos climáticos, creando un modelo que puede ser usado para predecir la distribución potencial de la especie tanto en el pasado

como en el futuro (Peterson et al. 2011). Cuando proyectamos un ENM desde el presente hacia el pasado o hacia el futuro necesitamos trabajar con el mismo tipo de datos climáticos en todos los escenarios temporales; necesitamos datos climáticos provenientes de los mismos modelos de clima, tanto para el presente como para el pasado. Sin embargo, las variables climáticas disponibles online hasta ahora (www.worldclim.org) presentan un problema importante; solo había un escenario para el presente que es era resultado de una interpolación espacial de datos climáticos provenientes de una serie de estaciones meteorológicas (Hijmans et al. 2005). ¿Cuál es el problema? Que cuando se proyecta un ENM en el pasado se debe usar el mismo modelo climático que has usado para calibrar tu ENM en el presente (Varela et al. 2011) (y no hay datos de estaciones meteorológicas de hace 21 000 años para hacer una interpolación similar al modelo Worldclim para el presente).

Worldclim (www.worldclim.org) es un repositorio con variables climáticas, abierto y libre, que ha permitido un desarrollo exponencial de los trabajos sobre biogeografía, macroecología y cambio climático en los últimos 10 años. Worldclim permite la descarga de 19 variables climáticas, a diferentes resoluciones espaciales y en diferentes formatos raster (que son formatos SIG, es decir, una matriz de datos georeferenciada). Además de la interpolación espacial para el presente, con datos de estaciones meteorológicas de entre 1950 a 2000 (Hijmans et al. 2005), Worldclim también dispone de capas SIG con información sobre las mismas variables climáticas en el pasado y en el futuro. Para generar estas capas combinan información sobre cambio climático proveniente de modelos de circulación global (AOGCMs (atmosphere-ocean coupled general circulation models), modelos físicos sobre dinámica climática) y su capa para el presente (proveniente de una interpolación). Esto significa que están mezclando dos tipos de modelos climáticos diferentes para generar sus capas del pasado y del futuro.

El problema metodológico surge cuando es necesario trabajar con diferentes escenarios temporales, porque es incorrecto usar un tipo de modelo climático para el presente y otro diferente para el pasado o el futuro. Idealmente no se debería utilizar un modelo climático interpolado a partir de observaciones reales (Worldclim) y compararlo con una capa proveniente de un AOGCM (o en una capa que es el resultado de combinar un AOGCM con la interpolación para el presente de Worldclim). Sin embargo, esta ha sido una práctica habitual en los trabajos de biogeografía, y nosotros mismos la hemos aplicado en alguna ocasión debido a la dificultad de encontrar otro tipo de variables climáticas para el presente (Silva et al. 2015), aunque no siempre (Varela et al. 2009, 2010b). Además, otro problema con el que nos encontrábamos es que los repositorios con datos climáticos normalmente no tienen simulaciones climáticas para el pasado (e.g. www.climond.org) o las capas climáticas no son compatibles entre los diferentes AOGCMs (no tienen igual resolución y extensión) o entre los diferentes intervalos temporales (e.g. <https://pmip3.lsce.ipsl.fr/>).

Esta serie de problemas metodológicos fueron los que nos llevaron a plantear un proyecto para generar nosotros mismos las variables climáticas que necesitábamos. Ha sido un proceso largo por las dificultades técnicas con las que nos hemos encontrado. En primer lugar nos hemos tenido que familiarizar con la estructura de las bases de datos de los repositorios web del CMIP5 (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>) y del PMIP3 (<https://pmip3.lsce.ipsl.fr/>) (Coupled and Paleoclimate Modeling Intercomparison Projects). Después de esto, hemos tenido que localizar las variables que necesitábamos descargar (por ejemplo, hay datos de temperatura para diferentes alturas de la atmósfera y necesitábamos descargar solamente la temperatura superficial), y por último, hemos tenido que trabajar con los datos en un formato de texto que no es habitual en ecología (.NetCDF), para lo cual hemos usado librerías específicas de R (RNetCDF (Michna y Woods 2015)).

Una vez que terminamos de procesar los datos decidimos crear un repositorio libre y accesible para cualquier persona desde el cual se puedan descargar estas variables y trabajar con ellas si lo necesita (www.ecoclimate.org). Hasta el momento hemos escrito dos trabajos sobre esta base de datos, uno técnico explicando detalladamente cómo hemos generado las variables (Lima-Ribeiro et al. 2015) y otro destinado a divulgar las diferencias que existen entre las predicciones de los diferentes AOGCMs para el máximo glaciador (Varela et al. 2015b).

AOGCMs en ecoClimate

Hemos generado capas climáticas globales para 9 AOGCMs (Atmosphere-Ocean General Circulation Models) diferentes: CCSM (Community Climate System Model; National Center for Atmospheric Research, Colorado, USA), MIROC (Model for Interdisciplinary Research On Climate; Atmosphere and Ocean Research Institute (University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Japan), GISS (Goddard Institute for Space Studies; NASA

Goddard Institute for Space Studies, USA), FGOALS (Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System model; National Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (LASG)/ Institute of Atmospheric Physics (IAP), China), MPI (Max Planck Institute; Max Planck Institute for Meteorology, Germany), MRI (Meteorological Research Institute; Meteorological Research Institute, Japan), CNRM (Centre National de Recherches Meteorologiques; Centre National de Recherches Meteorologiques/ Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique, France), COSMOS (Community Earth System Models, Freie Universität Berlin, Germany), IPSL (Institut Pierre Simon Laplace; Institut Pierre Simon Laplace, France).

Cada modelo climático tiene disponibles datos para diferentes intervalos temporales (<http://ecoclimate.org/downloads/>). CCSM, IPSL, MIROC, MRI son los únicos cuatro modelos que tienen datos originales disponibles para todos los intervalos temporales desde el último máximo glaciador (hace 21 000 años) hasta los cuatro escenarios de emisiones para el futuro del IPCC. Nuestra intención es mantener la base de datos y ampliarla cuando nuevos modelos o nuevos experimentos originales estén disponibles.

Tratamiento estadístico de los datos

Cada AOGCM tiene una resolución espacial diferente (Varela et al. 2015b), desde $0.9^\circ \times 1.25^\circ$ (CCSM) hasta $3.75^\circ \times 3.7^\circ$ (COSMOS). Como nuestro objetivo era crear variables climáticas comparables entre ellas para todos los AOGCMs nos vimos obligados a homogeneizar la resolución espacial de las variables. Nuestra intención no fue generar variables con gran detalle superponiendo un nuevo modelo a los datos climáticos (como es el caso de Worldclim, que usa la altitud como covariable para crear capas de 1km^2), sino utilizar el método más conservador posible por el cual pudiésemos generar capas comparables entre sí. Por este motivo decidimos optar hacer un método de interpolación denominado "krigeaje" con una resolución grosera ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$), pero uniforme (para más información ver Lima-Ribeiro et al. 2015 y Varela et al. 2015b).

Intervalos temporales

En ecoClimate hay predicciones sobre el clima del Plioceno (~3 millones años), del último máximo glaciador (hace 21 000 años) y del Holoceno (6000 años). Para el presente hay predicciones sobre el clima pre-industrial (anterior al siglo XX), para la primera y segunda mitad del siglo XX. Para el futuro hay predicciones sobre el clima que podría haber en el planeta bajo 4 trayectorias de concentración de gases invernadero diferentes; 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5 rcp (Representative Concentration Pathways). Estos números indican el incremento de calor absorbido por la Tierra debido a la concentración de gases invernadero en 2100 en cada trayectoria, medido en Watts por metro cuadrado. 2.6 rcp es el escenario más optimista de menor cambio climático y 8.5 rcp es el escenario más pesimista y de mayor calentamiento (Taylor et al. 2012) (<http://ecoclimate.org/downloads/>).

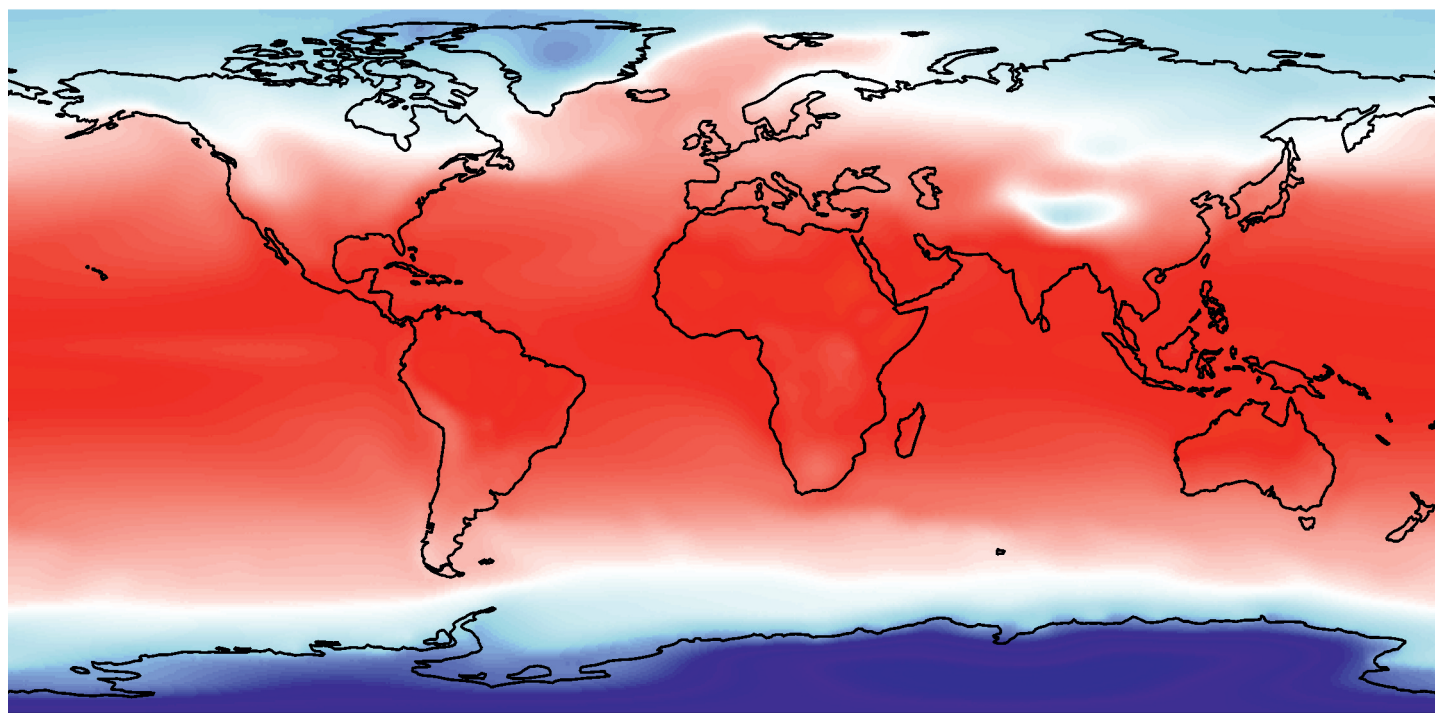
Variables

Hemos generado las 19 variables bioclimáticas que existen en Worldclim porque la mayoría de trabajos biogeográficos usan estas variables (Tabla 1). En total son 11 variables de temperatura (BIO1-BIO11) (temperatura media anual (BIO1, Fig. 1), máximas y mínimas mensuales y cuatrimestrales, estacionalidad, etc.) y 8 variables de precipitación (BIO12-BIO19) (precipitación anual, máximas y mínimas mensuales, cuatrimestrales, estacionalidad, etc.). En la web del Worldclim hay una descripción completa de las variables (<http://www.worldclim.org/bioclimate>), definidas por Busby (Busby 1991).

Además de estas 19 variables, en ecoClimate.org también están disponibles otras 48 variables, las variables mensuales de temperatura (media, máxima y mínima) y precipitación. Es decir, los datos brutos a partir de los cuales se generan las 19 variables bioclimáticas (los cuales no están disponibles en Worldclim).

Tabla 1. Descripción de las 19 primeras variables bioclimáticas descritas por Busby en 1991 y que ha popularizado la web www.worldclim.org.**Table 1.** First 19 bioclimatic variables described by Busby in 1991 and popularized by www.worldclim.org.

Variables	Descripción
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango de temperaturas diurnas
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4	Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar * 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más lluvioso
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más lluvioso
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del trimestre más frío

**Figura 1.** Ejemplo de una de las variables climáticas (en este caso BIO1, temperatura media anual, del modelo de circulación global CCSM para la segunda mitad del siglo XX) disponibles en ecoClimate (www.ecoclimate.org).**Figure 1.** Example of one of the climatic layers available in ecoClimate (www.ecoclimate.org). BIO1, annual mean temperature for the second half of the XX century (1950-1999) from the CCSM climatic model.

Cómo importar los datos a R

Los datos están guardados como archivos .txt (archivos de texto plano (ASCII)) y en formato raster. Una vez descargados se pueden abrir fácilmente en R ([R-Core-Team 2013](#)) o en cualquier software de estadística o de análisis espacial (GIS). Para importar los datos en formato .txt a R se usa la función básica *read.table*

```
> CCSM_LGM<- read.table (file="C:/clima/past_LGM_21ka_CCSM_21k.txt", head=TRUE)
```

El primer parámetro de la función, file, es la ruta del archivo (la ruta a la carpeta donde has salvado los datos y el nombre de los datos con su extensión). El segundo parámetro de la función, head=TRUE, indica que la primera línea de nuestra matriz son los nombres de las variables.

Puedes comprobar si has descargado bien la matriz usando la función *names*, con la que verás los nombres de las variables de la matriz, o la función *str*, para ver la estructura de la matriz, o la función *head* para ver las seis primeras líneas de la matriz.

```
> names (CCSM_LGM)
> str (CCSM_LGM)
> head (CCSM_LGM)
```

Para transformar la matriz en un archivo ráster usamos las funciones *gridded* del paquete *sp* ([Pebesma y Bivand 2005](#)) y *stack* del paquete *raster* ([Hijmans 2014](#))

```
> library(sp)
> library(raster)
> gridded(CCSM_LGM) <- ~long+lat
> map_CCSM_LGM <- stack(CCSM_LGM)
```

A partir de aquí, podemos trabajar con las variables en R y realizar cualquier análisis espacial o cualquier operación GIS. Como ejemplo, si queremos hacer un gráfico de las variables podemos definir la paleta de color que queremos utilizar y hacer un *plot* de las variables de temperatura por un lado, y de precipitación por otro, de la siguiente manera:

```
## gráficos de las variables de temperatura (seleccionamos los mapas del 2 al 12))
> colores_t<- colorRampPalette (c("darkblue", "blue", "lightblue", "white", "salmon", "red"))
> plot (map_CCSM_LGM [[c(2:12)]], axes=F, box=F, col=colores(100))
```

```
## gráfico de una variable específica, en este caso la temperatura media anual
> par (mar=c(0,0,1,0))
> plot (map_CCSM_LGM$bio.1, axes=F, box=F, col=colores_t(100), legend=T)
> title ("LGM Bio1 CCSM")
```

```
## gráficos de las variables de precipitación (seleccionamos del 13 al 20)
> colores_p<- colorRampPalette (c("white", "lightblue", "blue", "darkblue"))
> plot (map_CCSM_LGM [[c(13:20)]], axes=F, box=F, col=colores_p(100))
```

```
## gráfico de la Precipitación Anual
> par (mar=c(0,0,1,0))
> plot (map_CCSM_LGM$bio.12, axes=F, box=F, col=colores_p(100), legend=T)
> title ("LGM Bio12 CCSM")
```

Uso potencial de ecoClimate

Las variables climáticas de ecoClimate son adecuadas para trabajar a escalas continentales o globales ya que tienen una resolución espacial de 0.5 grados, una resolución muy frecuente en trabajos de macroecología y biogeografía, incluidos aquellos trabajos que usan técnicas de ENM. Se trata del primer repositorio de datos climáticos globales que permite trabajar con diferentes modelos climáticos homogéneos tanto espacial (misma resolución

entre diferentes modelos para el mismo escenario) como temporalmente (mismo modelo con diferentes experimentos a lo largo del tiempo). Evidentemente, la resolución espacial de los datos climáticos no permite responder preguntas a nivel local o regional. ecoClimate es ideal para estudios que relacionen cambios en la diversidad de especies o de características asociadas por estas especies con el clima y que quieran proyectar los modelos que generen en el presente tanto en el pasado como en escenarios de cambio climático del futuro.

Agradecimientos

Agradecemos al World Climate Research Programme's Working Group on Coupled Modeling by the CMIP5 and PMIP3 por su excepcional trabajo disponibilizando de manera gratuita las predicciones climáticas de los AOGCMs. Agradecemos al gobierno Brasileño el haber financiado este proyecto: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) y Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), mediante la red de investigación GENPAC (Geographical Genetics and Regional Planning for Natural Resources in Brazilian Cerrado, project nº 563727/2010-1). Agradecemos a la Universidad de Alcalá de Henares el haber financiado el trabajo de SV. Agradecemos a Thiago Fernando Rangel (UFG) y a Mariana Rocha (*in memoriam*) por su inestimable ayuda al desarrollo de ecoClimate.

Referencias

- Barrientos, R., Kvist, L., Barbosa, A., Valera, F., Khoury, F., Varela, S., Moreno, E. 2014. Refugia, colonization and diversification of an arid-adapted bird: coincident patterns between genetic data and ecological niche modelling. *Molecular Ecology* 23: 390-407.
- Busby, J.R. 1991. BIOCLIM a bioclimate analysis and prediction system. *Plant Protection Quarterly* 6: 8-9.
- Collevatti, R.G., Terribile, L.C., de Oliveira, G., Lima-Ribeiro, M.S., Nabout, J.C., Rangel, T.F., Diniz-Filho, J.A.F. 2012. Drawbacks to palaeodistribution modelling: the case of South American seasonally dry forests. *Journal of Biogeography* 40: 345-358.
- Hijmans, R.J. 2014. raster: raster: Geographic data analysis and modeling. R package version 2.2-31. <http://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Lima-Ribeiro, M.S., Varela, S., Nogués-Bravo, D., Diniz-Filho, J.A.F. 2012. Potential Suitable Areas of Giant Ground Sloths Dropped Before its Extinction in South America: the Evidences from Bioclimatic Envelope Modeling. *Natureza e Conservacao* 10: 145-151.
- Lima-Ribeiro, M.S., Nogués-Bravo, D., Terribile, L.C., Batra, P., Diniz-Filho, J.A.F. 2013. Climate and humans set the place and time of Proboscideans extinction in late Quaternary of South America. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 392: 546-556.
- Lima-Ribeiro, M.S., Varela, S., González-Hernández, J., Oliveira, G.d., Diniz-Filho, J.A.F., Terribile, L.C. 2015. ecoClimate: a database of climate data from multiple models for past, present, and future for macro-ecologists and biogeographers. *Biodiversity Informatics* 10: 1-21.
- Michna, P., Woods, M. 2015. RNetCDF: Interface to NetCDF Datasets. R package version 1.7-3. <http://CRAN.R-project.org/package=RNetCDF>
- Pebesma, E.J., Bivand, R.S. 2005. Classes and methods for spatial data in R. *R news* 5: 9-13.
- R-Core-Team 2013. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., Araújo. M. B. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press, Princeton, NJ, Estados Unidos.
- Silva, D.P., Varela, S., Nemésio, A., De Marco, P., Jr. 2015. Adding Biotic Interactions into Paleodistribution Models: A Host-Cleptoparasite Complex of Neotropical Orchid Bees. *PLoS ONE* 10: e0129890.
- Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A. 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93: 485-498.
- Varela, S., Rodríguez, J., Lobo, J.M. 2009. Is current climatic equilibrium a guarantee for the transferability of distribution model predictions? A case study of the spotted hyena. *Journal of Biogeography* 36: 1645-1655.
- Varela, S., Lobo, J.M., Rodríguez, J. 2010a. Influencia de los cambios climáticos en la extinción de la hiena manchada (*Crocota crocuta* Erxleben, 1777) en la Península Ibérica. *Zona Arqueológica* 13: 68-75.
- Varela, S., Lobo, J.M., Rodríguez, J., Batra, P. 2010b. Were the Late Pleistocene climatic changes responsible for the disappearance of the European spotted hyena populations? Hindcasting a species geographic distribution across time. *Quaternary Science Reviews* 29: 2027-2035.
- Varela, S., Lobo, J.M., Hortal, J. 2011. Using species distribution models in paleobiogeography: A matter of data, predictors and concepts. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 310: 451-463.
- Varela, S., Lima-Ribeiro, M.S., Diniz-Filho, J.A.F., Storch, D. 2015a. Differential effects of temperature change and human impact on European Late Quaternary mammalian extinctions. *Global Change Biology* 21: 1475-1481.
- Varela, S., Lima-Ribeiro, M.S., Terribile, L.C. 2015b. A Short Guide to the Climatic Variables of the Last Glacial Maximum for Biogeographers. *PLoS ONE* 10: e0129037.