

Análisis espacio-temporal de datos de área: aplicaciones en epidemiología

Aritz Adin

aritz.adin@unavarra.es

Departamento de Estadística, Informática y Matemáticas
Universidad Pública de Navarra

II Seminario de Experiencias de uso de Sistemas de Información Geográfica

Universidad de La Rioja, 27 de mayo de 2019



- 1 Clasificación de datos espaciales
- 2 Introducción al disease mapping
- 3 Medidas clásicas de estimación
- 4 Modelización espacio-temporal en disease mapping
- 5 Aplicación web SSTCDapp

Clasificación de datos espaciales

Los **datos espaciales** pueden clasificarse en tres tipos básicos:

- **Datos geoestadísticos** (*point-reference data*), donde $Y(\mathbf{s})$ es un vector aleatorio en la ubicación $\mathbf{s} \in \mathbb{R}^n$, que varía de forma continua sobre un dominio fijo D .
- **Datos de área** (*lattice data*), donde D es de nuevo un dominio fijo (de forma regular o irregular), pero ahora esta dividido en un número finito de unidades de área cuyas fronteras se encuentran claramente definidas.
- **Datos de procesos puntuales** (*point pattern data*), donde D es en sí misma aleatoria; su conjunto de índices proporciona las localizaciones de los eventos aleatorios que forman el proceso puntual espacial. $Y(\mathbf{s})$ puede simplemente tomar el valor 1 para todo $\mathbf{s} \in D$ (indicando la ocurrencia de un evento), o pueden incluir información adicional sobre alguna variable de interés (denominados *procesos puntuales marcados*).

Clasificación de datos espaciales: Ejemplos

- **Datos geostatísticos:** Datos de teledetección de la temperatura diurna en la superficie terrestre (LST) y temperatura máxima media (Tmax) en Navarra durante la tercera semana de febrero de 2014.

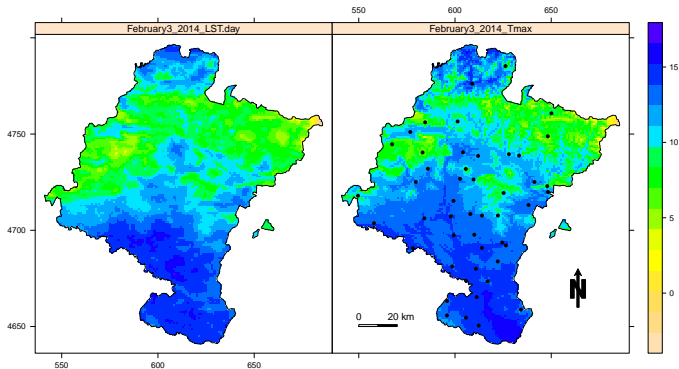
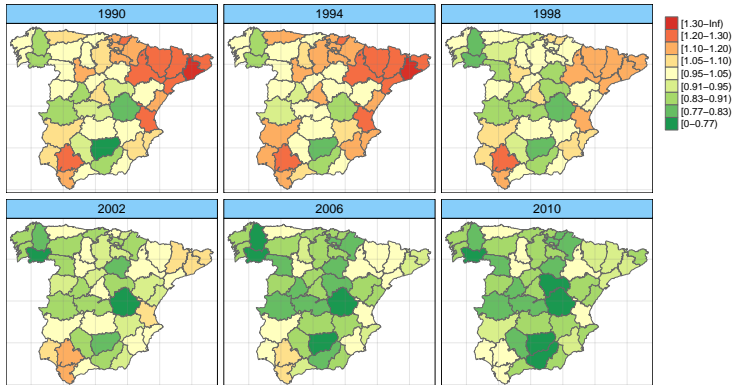


Figure 1: Militino, A., Ugarte, M., and Pérez-Goya, U. (2018). Improving the Quality of Satellite Imagery Based on Ground-Truth Data from Rain Gauge Stations. *Remote Sensing*, 10(3), 398.

Clasificación de datos espaciales: Ejemplos

- **Datos de área:** Análisis espacio-temporal de los riesgos relativos de mortalidad por cáncer de mama en las provincias de España durante el periodo 1990-2010.



Clasificación de datos espaciales: Ejemplos

- **Datos de procesos puntuales.** Posiciones en el cielo de 4215 galaxias en el Supercúmulo de Shapley (la mayor concentración de galaxias en el universo cercano).

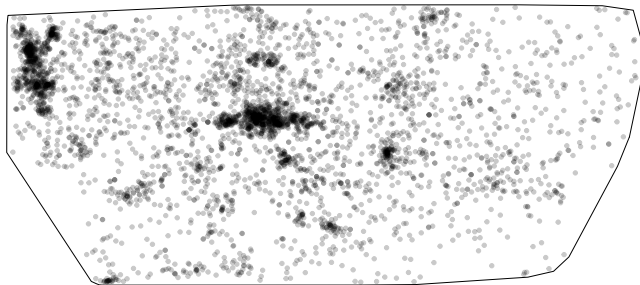


Figure 2: Baddeley, A., Turner, R. (2005). spatstat: An R Package for Analyzing Spatial Point Patterns. *Journal of Statistical Software* 12(6), pp. 1-42. Fuente original: M.J. Drinkwater, Department of Physics, University of Queensland.

Clasificación de datos espaciales: Ejemplos

- **Datos de procesos puntuales marcados.** Localización de incendios forestales ocurridos en la provincia de Castellón durante los años 2001-2006. Los círculos son indicativos de la clase del tamaño para cada incendio: $(0, 1]$ ha, $(1, 6]$ ha, $(6, 11]$ ha, $(11, 16]$ ha, $(16, 21]$ ha y más de 21 ha.

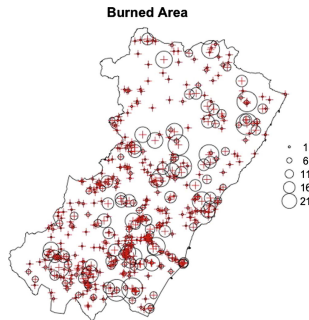


Figure 3: Díaz-Avalos, C., Juan, P., and Serra-Saurina, L. (2016). Modeling fire size of wildfires in Castellon (Spain), using spatiotemporal marked point processes. *Forest Ecology and Management*, 381, pp. 360-369.

Introducción al *disease mapping*

En esta charla nos centraremos en el análisis de **datos de área** en un contexto epidemiológico, una de las aplicaciones más típicas pero no la única.

- La **representación cartográfica de enfermedades** (conocida en inglés como *disease mapping*), también adquiere otros nombres tales como epidemiología espacial, epidemiología ambiental o estudios de salud en áreas pequeñas.
- El objetivo principal de este campo de investigación es **proporcionar herramientas que permitan estimar patrones espacio-temporales** de mortalidad e incidencia de cáncer y otras enfermedades crónicas, así como **detectar regiones con exceso de riesgo**.
- La información obtenida de estos análisis es de gran utilidad tanto para los investigadores en salud pública como para las autoridades sanitarias, ya que permiten
 - formular hipótesis sobre la etiología de una enfermedad.
 - buscar posibles factores de riesgos.
 - asignar recursos económicos de manera eficiente en programas de prevención o intervención.

Introducción al *disease mapping*

El trabajo del doctor John Snow (1854) es probablemente uno de los primeros y más famosos casos en *disease mapping*. Estudió la distribución espacial de los casos de cólera en Londres y pudo determinar el factor de riesgo: una bomba de agua contaminada en Broad Street.

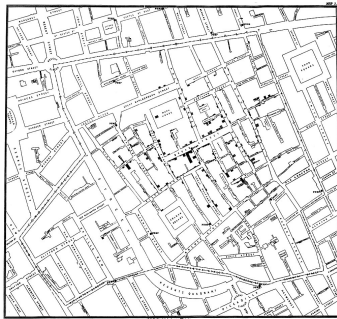


Figure 4: Mapa atribuido como original del Dr. Snow.

Introducción al *disease mapping*

- El Dr. Snow utilizó el mapa para convencer a las autoridades locales de que clausuraran la bomba de agua, lo cual hizo que el número de muertes por cólera se redujera drásticamente.
- Hoy en día, el mapeo de enfermedades infecciosas como la tuberculosis, la hepatitis, la gripe, la malaria, el dengue o el zika son una preocupación constante para las autoridades sanitarias.
- Los atlas de enfermedades crónicas (principalmente mapas de mortalidad por cáncer) en países o unidades administrativas más pequeñas también son muy comunes.
- En muchos casos, una variedad de factores ambientales, climáticos y socio-económicos subyacen en sus patrones espacio-temporales.

Sistemas de Información Geográfica

- Durante las últimas décadas, el desarrollo de las plataformas computacionales y con ellos las capacidades de los **Sistemas de Información Geográfica (GIS)** han permitido una mayor sofisticación en el manejo de datos georreferenciados.
- Los **avances en algoritmos computacionales y su implementación en software libre han facilitado el uso de herramientas para el análisis de datos espaciales y espacio-temporales** tanto a estudiantes como a profesionales de diversos ámbitos.



Medidas clásicas de estimación

- Actualmente, no se representan los casos observados en un mapa porque no es muy informativo y las poblaciones deben tenerse en cuenta.
- El indicador de mortalidad/incidencia más simple es la **tasa bruta**, que se define como el número de caso por 100.000 habitantes.
- Como la ocurrencia de muertes en la mayoría de las enfermedades depende altamente de la edad, se deben calcular **tasas estandarizadas por edad** para eliminar la influencia de las distribuciones por edades de la población a lo largo de las zonas geográficas analizadas. Este podría ser también el caso de otras variables además de la edad.
- La medida estadística más clásica para analizar la incidencia o mortalidad por enfermedades raras y no infecciosas es la **Razón de Mortalidad Estandarizada (RME)**.

RMEs: cálculo e interpretación

Supongamos que la región de estudio esta dividida en S áreas pequeñas contiguas y los datos están disponibles para T periodos de tiempo.

- O_{it} denota el nº de casos observados en el área i y tiempo t
- E_{it} denota el nº de casos de esperados en el área i y tiempo t (generalmente calculados mediante estandarización indirecta)
- La razón de mortalidad estandarizada se calcula como

$$RME_{it} = \frac{O_{it}}{E_{it}} \quad \text{para } i = 1, \dots, S; t = 1, \dots, T$$

- Por ejemplo, un valor de $RME_{it} = 1.3$ indica que para el área i en el periodo de tiempo t tenemos un número de casos 30% superiores a lo esperado.

RMEs: limitaciones

- Estas medidas son **extremadamente variables** cuando se analizan **enfermedades raras (con pocos casos)** o áreas de baja población.
- Para hacer frente a esta situación, es necesario el uso de **modelos estadísticos** “sofisticados” que nos permiten **suavizar los riesgos (o tasas)** tomando información prestada de vecinos espaciales y temporales.

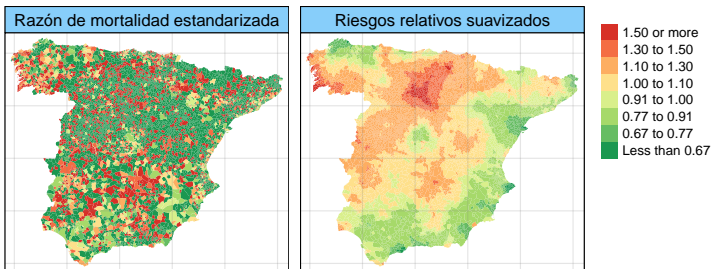


Figure 5: Mapa con las RMEs y riesgos relativos suavizados para los datos de cáncer de estómago (hombres) en los $n = 7907$ municipios de España durante el periodo 2011-2015.

Modelización espacio-temporal en *disease mapping*

- Los modelos más utilizados en *disease mapping* son los modelos lineales generalizados mixtos (GLMM), los cuales se formulan comúnmente dentro del marco de los **modelos jerárquicos Bayesianos**.
- La modelización Bayesiana proporciona **distribuciones marginales (a posteriori) para los parámetros de interés** en lugar de estimaciones puntuales.
- Estas distribuciones no suelen tener disponibles expresiones en forma cerrada, por lo que, **generalmente, la inferencia se basa métodos de Monte Carlo basados en cadenas de Markov** (técnicas denominadas por las siglas MCMC).
- Estos **métodos de simulación** suelen resultar **computacionalmente muy costosos**, particularmente cuando se trata con modelos espacio-temporales complejos.

Modelización espacio-temporal en *disease mapping*

- Recientemente, se ha desarrollado una nueva técnica para realizar **inferencia Bayesiana aproximada** en campos aleatorios Gaussianos markovianos.
- La técnica se conoce por las siglas **INLA (Integrated nested Laplace approximation)** y ha sido propuesta por Rue et al. (2009).¹
- Este método **reduce significativamente el tiempo computacional** y puede ejecutarse en R a través de la librería **R-INLA**.
- Sin embargo, **la generalidad de R-INLA hace que su uso sea complejo para usuarios no expertos**.
- Además, **el uso de distribuciones *a priori* apropiadas y la resolución de problemas de identificación en los modelos espacio-temporales no siempre son sencillos**.

¹Rue, H., Martino, S., and Chopin, N. (2009). Approximate Bayesian inference for latent Gaussian models by using integrated nested Laplace approximations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 71(2), pp. 319-392.

Modelos CAR espacio-temporales

Los modelos que incluyen **distribuciones condicionales autorregresivas (CAR) para los efectos espaciales y temporales** propuestos por Knorr-Held (2000)² son, probablemente, los más utilizados en *disease mapping* espacio-temporal.

$$\log r_{it} = \eta + \xi_i + \gamma_t + \delta_{it}$$

- η representa un nivel de riesgo global.
 - ξ es un efecto aleatorio estructurado en el espacio.
 - γ es un efecto aleatorio estructurado en el tiempo
 - δ representa los efectos de interacción espacio-temporal (cuatro tipos).
- Estos modelos son lo suficientemente flexibles para describir situaciones reales, y su interpretación es simple y atractiva.
 - Estos modelos generalmente no son identificables y se requieren restricciones apropiadas para obtener resultados fiables.

²Knorr-Held, L. (2000). Bayesian modelling of inseparable space-time variation in disease risk. *Statistics in Medicine*, 19, pp. 2555-2567.

Aplicación web SSTCDapp

- **SSTCDapp**³ es una **aplicación web interactiva para el análisis de datos de conteo espaciales y espacio-temporales**, con un enfoque particular en el campo de la representación cartográfica de enfermedades.
- Esta diseñada para dos propósitos principales:
 - Realizar **análisis descriptivos** en el espacio y el tiempo de riesgos o tasas de mortalidad/incidencia.
 - **Ajustar una amplia variedad de modelos jerárquicos espaciales y espacio-temporales para datos de conteo.**
- **Facilita el uso de modelos comúnmente utilizados en disease mapping a través de R-INLA para usuarios de diversas áreas de investigación, incluidos epidemiólogos e investigadores en salud pública.**
- La aplicación también se puede utilizar para el análisis de problemas similares en otros campos como la criminología, la violencia de género, accidentes de tráfico o veterinaria.

³Adin, A., Goicoa, T., and Ugarte, M.D. (2019). Online relative risks/rates estimation in spatial and spatio-temporal disease mapping. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 172, pp. 103-116.

Aplicación web SSTCDapp

Principales características:

- Ha sido desarrollada utilizando **Shiny**, un paquete para construir aplicaciones web interactivas a través de R.
- Los usuarios pueden acceder a la aplicación directamente desde el navegador web en <https://emi-sstcdapp.unavarra.es/Login/> sin tener que de instalar ningún software en sus ordenadores, ya que todos los cálculos y análisis se realizan en un potente servidor remoto.
- También se encuentra disponible una **versión de escritorio** con el código fuente **para ejecutar la aplicación en local** si fuese necesario, garantizando totalmente la confidencialidad de los datos.

Aplicación web SSTCDapp

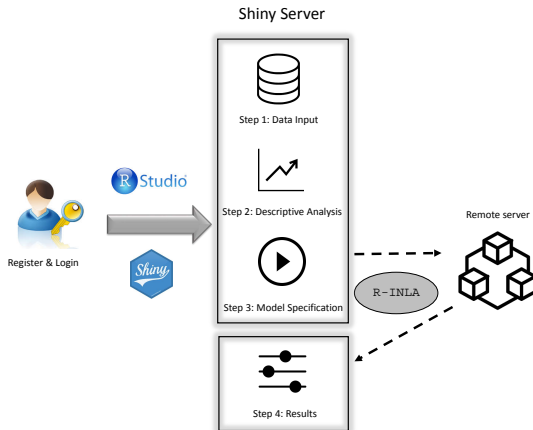


Figure 6: Diagrama de flujo de la aplicación SSTCDapp.

Manual de usuario y tutoriales

La aplicación incluye un detallado manual de usuario y varios tutoriales para mostrar cómo ajustar modelos espaciales y espacio-temporales con SSTCDapp.

The screenshot displays the SSTCDapp web application interface. At the top, a header bar contains the text "Shiny application for the analysis of spatial and spatio-temporal count data: SSTCDapp" and the upna logo (Universidad Pública de Navarra). Below the header is a dark sidebar with navigation links: Home, Data Input, Descriptive Analysis, Model Specification, Results, Help, Desktop version, and Logout. The main content area is titled "Technical Documentation" and lists a "SSTCDapp User Guide". Below this, the "SSTCDapp Tutorials" section is introduced, stating that tutorials with details on how to fit spatial and spatio-temporal disease mapping models are provided. Three tutorials are listed:

- 1. Spatial analysis of Scottish lip cancer mortality risks**
In this first tutorial, purely spatial disease mapping models are fitted to estimate relative risks for the well-known Scottish lip cancer mortality data. The tutorial shows how to upload the import data (.Rdata format) and its associated cartography (.shapefile format), how to select the variables of interest and generate descriptive graphs, how to run purely spatial models using the SSTCDapp application, and how analyze the estimated relative risks.
Tutorial: [Spatial analysis of Scottish lip cancer mortality data](#)
Download: [Scottish lip cancer mortality data](#)
- 2. Spatial analysis of female breast cancer mortality rates in Spanish provinces**
In this second tutorial, purely spatial disease mapping models are fitted to estimate rates of female breast cancer mortality data in Spain. The tutorial shows how to upload the import data (.csv format) and its associated cartography (.Rdata format), how to compute standardized rates using direct age-standardization, how to generate descriptive graphs, how to run purely spatial models using the SSTCDapp application, and how analyze the estimated risks.
Tutorial: [Spatial analysis of Spanish breast cancer mortality data](#)
Download: [Spanish breast cancer mortality data \(spatial case\)](#)
- 3. Spatio-temporal analysis of female breast cancer mortality risks in Spanish provinces**
In this third tutorial, spatio-temporal disease mapping models are fitted to estimate relative risks of female breast cancer mortality data in Spain. The tutorial shows how to upload the import data (.Rdata format) and its associated cartography (.Rdata format), how to compute the expected number of cases using indirect age-standardization, how to generate descriptive graphs, how to run spatio-temporal models using the SSTCDapp application, how analyze the estimated relative risks, and how to analyze the spatial, temporal and spatio-temporal patterns of relative risks.
Tutorial: [Spatio-temporal analysis of Spanish breast cancer mortality data](#)
Download: [Spanish breast cancer mortality data \(spatio-temporal case\)](#)

Ejemplo: estimación de riesgos de mortalidad por cáncer de mama en las provincias de España

- Este tutorial contiene los siguientes archivos:
 - **Breast_Cancer.txt**
Archivo de texto con los casos de mortalidad por cáncer de mama en mujeres registrados en las 47 provincias de España continental durante el periodo 1990-2010. Los datos se encuentran desagregados por área, año y grupo de edad.
 - Region: variable de identificación para las provincias.
 - Year: año de defunción.
 - Age_group: 1=[0,5), 2=[5,10), ..., 17=[80,85), 18=[+85).
 - Cases: número de casos observados.
 - Pop: población.
 - **Carto_SpainPROV.Rdata**
Archivo de R que contiene la cartografía de las provincias de España.
 - **SpainPROV_nbMatrix.txt**
Archivo de texto con la matriz de vecindad espacial.
 - **SpainPROV_adjacencyMatrix.txt**
Archivo de texto con la matriz de adjacencia espacial.

Pestaña 1: Entrada de datos

● Archivo de datos:

- Seleccionar el formato `.txt` en el cuadro **Data file options**.
- Cargar el archivo `Breast_Cancer.txt` a través del cuadro **Upload data file**.

The screenshot displays the SSTCDapp interface. On the left is a navigation sidebar with options: Home, Data Input, Data file, Map file, Descriptive Analysis, Model Specification, Results, Help, and Logout. The main content area is divided into two panels. The left panel, titled "Data file options", contains settings for Format (selected as ".txt"), Header (checked), String as factor (checked), Quote (selected as "Double quote"), Separator character (selected as "White space"), and Decimal (selected as "Period"). A "Reset" button is at the bottom. The right panel, titled "Upload data file", shows a file upload section with a "Browse..." button and a selected file "Breast_Cancer.txt". Below this is a table with columns: Region, Year, Age_group, Cases, and Pop. The table contains 10 rows of data. At the bottom of the table, there are input fields for Region, Year, Age_group, Cases, and Pop. A pagination bar at the bottom indicates "Showing 1 to 10 of 17,786 entries" and includes a "Previous" button, a page number "1" (highlighted), and buttons for "2", "3", "4", "5", "...", "1777", and "Next".

Shiny application for the analysis of spatial and spatio-temporal count data:
SSTCDapp

upna
Universidad Pública de Navarra
UNIVERSITY OF NAVARRA

Home

Data Input

Data file

Map file

Descriptive Analysis

Model Specification

Results

Help

Logout

Data file options

Format

.txt .csv .data

Header

String as factor

Quote:

Double quote Single quote None

Separator character:

White space Comma Semicolon Tab

Decimal:

Period Comma

Reset

Upload data file

Upload the ".txt" file

Browse... Breast_Cancer.txt

Upload complete

Show 10 entries

Search:

Region	Year	Age_group	Cases	Pop
1	1990	1	0	6036
1	1990	2	0	8279
1	1990	3	0	10731
1	1990	4	1	11620
1	1990	5	0	11303
1	1990	6	1	11294
1	1990	7	0	10862
1	1990	8	2	9976
1	1990	9	0	9647
1	1990	10	1	8200

Region Year Age_group Cases Pop

Showing 1 to 10 of 17,786 entries

Previous 1 2 3 4 5 ... 1777 Next

Pestaña 1: Entrada de datos

● Cartografía:

- Seleccionar el formato `.Rdata` en el cuadro **Map file options**.
- Cargar el archivo `Carto_SpainPROV.Rdata` a través del cuadro **Upload map file** y seleccionar "ID.area" como la variable de identificación en la cartografía.

The screenshot displays the SSTCDapp interface. At the top, it identifies itself as a "Shiny application for the analysis of spatial and spatio-temporal count data: SSTCDapp" and features the upna logo. A dark sidebar on the left contains navigation links: Home, Data Input, Data File, Map file, Descriptive Analysis, Model Specification, Results, Help, and Logout. The main content area is divided into two panels. The "Map file options" panel on the left has a "Format" section with radio buttons for ".Rdata" (selected), ".ids", and ".shp", and a "Reset" button. Below this, it provides a "URL link: GADM database of Global Administrative Areas". The "Upload map file" panel on the right prompts the user to "Upload the '.Rdata' file" and shows a file browser with "Carto_SpainPROV.Rdata" selected. Below the browser is a map of Spain showing provincial boundaries, with a coordinate grid ranging from 38°N to 44°N latitude and 10°W to 5°E longitude. At the bottom of this panel, there is a dropdown menu labeled "Select the area variable in the map" with "ID.area" selected.

Pestaña 2: Análisis descriptivo

Seleccionar las variables de interés para calcular las RMEs.

● Selección de variables:

- Seleccionar "Region" como la variable área en el cuadro **Area**.
- Seleccionar "Year" como la variable tiempo en el cuadro **Time**.
- Seleccionar "Pop" como la variable población en el cuadro **Population**.
- Seleccionar "Cases" como la variable de casos observados en el cuadro **Counts**.
- Para calcular el número de casos esperados utilizando el método de estandarización indirecta, seleccionar "Age_group" como variable auxiliar.

The screenshot displays the SSTCDapp interface with four main panels for variable selection and one panel for standardization method options.

Area

Select the area variable

Region

Region variable: n=47 unique values

1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Time

Select the time variable

Year

Year variable: T=21 unique values

1998	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	20
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	----

Standardization method

Select expected cases variable from the data

Compute expected cases using indirect standardization

Compute mortality/incidence rates using direct standardization

Auxiliary variables for indirect standardization

Age_group

Population

Select the population variable

Pop

Summary of *Pop* variable

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
1496	7501	13768	23303	24809	286088

Counts

Select the observed cases variable

Cases

Summary of *Cases* variable

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.000	0.000	2.000	6.459	8.000	168.000

Pestaña 2: Análisis descriptivo

Seleccionar las variables de interés para calcular las RMEs.

● Selección de variables:

- Presione el botón **Compute aggregated data** antes de continuar a la siguiente pestaña.

Aggregated data

Compute aggregated data

Show entries Search:

Región	Year	Cases	Pop	exp	crude.rate	SMR
1	1990	46	136612	29.7136915118704	33.6720053875209	1.548
2	1990	36	172306	41.2213741027676	20.8930623425766	0.8733
3	1990	153	653859	146.296951484935	23.3995402678559	1.046
4	1990	42	228880	47.8772785601095	18.3502271932891	0.8772
5	1990	28	87099	26.5834775241532	32.1473266053571	1.053
6	1990	87	329583	82.1906297699817	26.39699256333	1.059
8	1990	781	2388931	591.021075740235	32.6924469564002	1.321
9	1990	46	176404	48.4993241502457	26.0765062016734	0.9485
10	1990	44	208362	55.8642983860764	21.117094287826	0.7876
11	1990	122	540480	99.6783677823082	22.5725281231498	1.224

Region Year Cases Pop exp crude.rate SMR

Showing 1 to 10 of 987 entries Previous **1** 2 3 4 5 ... 99 Next

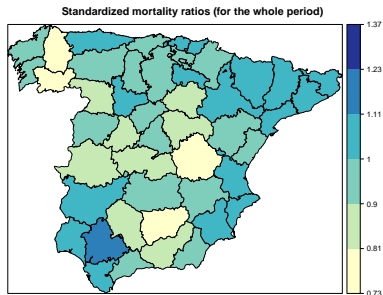
[Export data](#)

Pestaña 2: Salidas gráficas

● Distribución espacial:

- Seleccionar la variable "Standardized mortality/incidence ratios" (o "Crude rates") y presionar el botón **Generate plot** para obtener el mapa con las RMEs de cáncer de mama para todo el periodo 1990-2010.

The screenshot shows the 'Descriptive graphics' configuration panel in the SSTCDapp. On the left is a dark sidebar with navigation options: Home, Data Input, Descriptive Analysis, Variable Selection, Graphical Outputs, Model Specification, Results, Help, and Logout. The main panel has a blue header 'Descriptive graphics' and a 'Select output variable' dropdown menu set to 'Standardized mortality/incidence ratios'. Below this are three tabs: 'Spatial distribution' (selected), 'Temporal evolution', and 'Spatio-temporal maps'. The 'Title' field contains 'Standardized mortality ratios (for the whole period)'. The 'Color palette' section has three radio buttons: 'YIGnBu' (selected), 'YIGrRd', and 'YIGrBr'. Below it is a link for 'Available color palettes'. The 'Number of classes' field is set to '6'. At the bottom are two buttons: 'Generate plot' and 'Reset'.



Pestaña 2: Salidas gráficas

● Distribución temporal:

- Del mismo modos, se obtiene un gráfico con la evolución temporal de las RMEs para el conjunto de España.

Descriptive graphics

Select output variable

Standardized mortality/incidence ratios

Spatial distribution Temporal evolution Spatio-temporal maps

Title

Breast cancer mortality in Spain

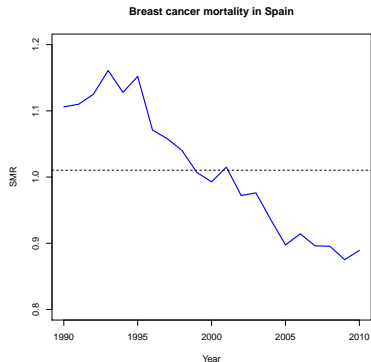
xlab Year ylab SMR

xlim (vector) c(1,21) ylim (vector) c(0.8,1.2)

color blue

Show mean rate

Generate plot Reset



Pestaña 2: Salidas gráficas

● Mapas espacio-temporales:

- Evolución espacio-temporal de las RMEs de cáncer de mama para cada provincia durante el periodo 1990-2010.

Descriptive graphics

Select output variable

Standardized mortality/incidence ratios

Spatial distribution Temporal evolution Spatio-temporal maps

Title

Breast cancer mortality data (SMRs)

Time periods

1990 1994 1998 2002 2006 2010

Select all

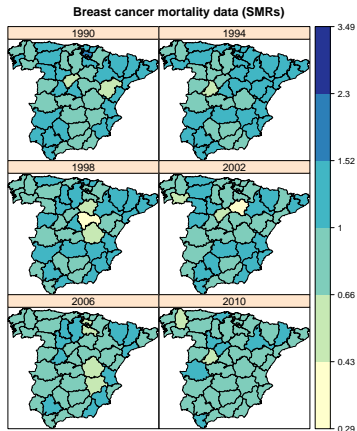
N. of rows: 2 N. of columns: 3

Color palette: YlOrBu YlOrRd YlOrBr

Available color palettes

Number of classes: 6

Generate plot Reset



Pestaña 3: Especificación del modelo

- **Distribuciones a priori espaciales, temporales y espacio-temporales:**
 - Seleccionar las distribuciones espaciales (Leroux) y temporales (RW1), así como la correspondiente interacción espacio-temporal (Type IV).
 - La estructura de vecindad espacial debe definirse utilizando alguna de las siguientes opciones:
 - utilizando la cartografía previamente cargada para calcular automáticamente la matriz de vecinos.
 - cargando el archivo con la matriz de vecindad espacial `SpainPROV_nbMatrix.txt`.
 - cargando el archivo con la matriz de adjacencia espacial `SpainPROV_adjacencyMatrix.txt`.

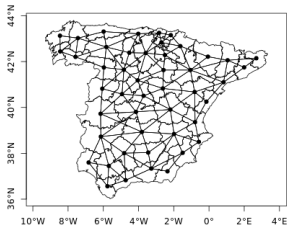
Pestaña 3: Especificación del modelo

- **Distribuciones a priori espaciales, temporales y espacio-temporales:**
 - Pulse el botón [Show neighborhood graph](#) para verificar que la cartografía (las provincias españolas) y la matriz de vecinos espaciales son consistentes.

Spatial neighborhood matrix

Compute from the map file

Show neighborhood graph



```
Neighbour list object:  
Number of regions: 47  
Number of nonzero links: 224  
Percentage nonzero weights: 10.14033  
Average number of links: 4.765957  
Link number distribution:  
  
  2  3  4  5  6  7  8  
  3  9  8 12  8  5  2  
3 least connected regions:  
4 15 17 with 2 links  
2 most connected regions:  
9 50 with 8 links
```

Pestaña 3: Especificación del modelo

- **Estrategia de aproximación en INLA:**

- Seleccionar la estrategia de aproximación (Simplified Laplace) para calcular las distribuciones marginales de los efectos aleatorios.

- **Opciones avanzadas:**

- Por defecto, la aplicación calcula los patrones espaciales, temporales y espacio-temporales de los riesgos relativos.
- Se puede ajustar de forma simultánea una batería de modelos con todos los tipos de interacción espacio-temporal.
- Se puede descargar el código R para ejecutar la función INLA de forma local.

- **Ejecutar la función INLA:**

- Pulsar el botón [Run INLA](#) para ejecutar el modelo en el servidor remoto.
- Permite incluir un nombre para identificar el modelo (opcional)
- Una vez finalizados los cálculos, el usuario recibirá una notificación por email.
- Se pueden importar uno o varios modelos a través de la pestaña "Retrieve selected model(s)" del cuadro [Fitted models](#).
- Si se importan múltiples modelos, se mostrará una tabla con diferentes medidas de selección de modelos.

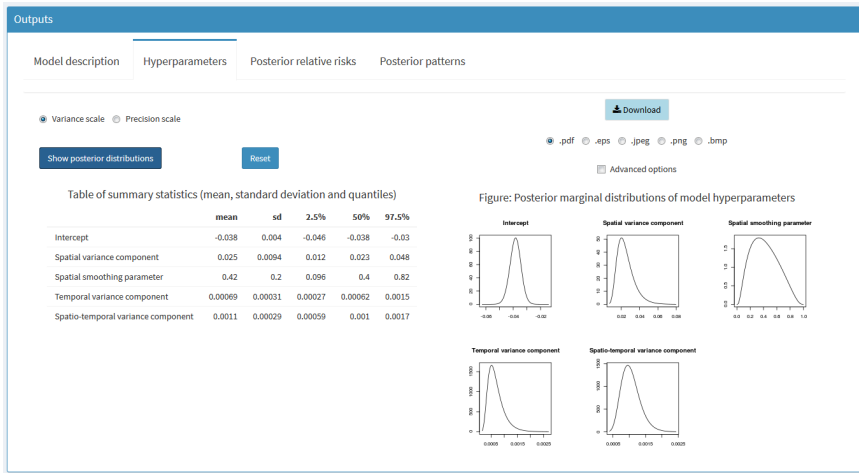
Pestaña 4: Resultados

- Se proporcionan **medidas de resumen y varios gráficos/tablas** para correspondientes a las distribuciones posteriores de los **hiperparámetros del modelo**, los **riesgos relativos** de mortalidad por cáncer de mama para cada provincia (en comparación con toda España) y los correspondientes **patrones espaciales, temporales, y espacio-temporales**.
- **Descripción del modelo:**

Outputs			
Model description	Hyperparameters	Posterior relative risks	Posterior patterns
ID	Tue-Mar-20-16-54-52-2018		
Name	Breast_Cancer		
Spatial prior	Leroux		
Temporal prior	RW1		
Space-time interaction	TypeIV		
Aproximation strategy	laplace		
Integration strategy	auto		

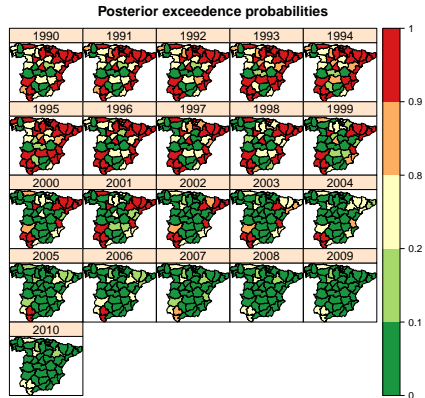
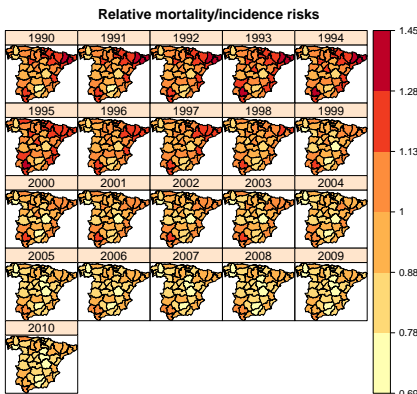
Pestaña 4: Resultados

● Hiperparámetros:



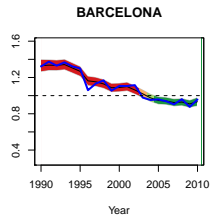
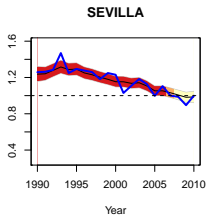
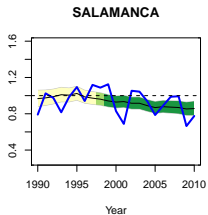
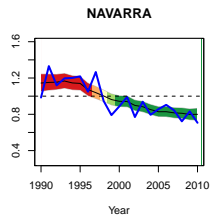
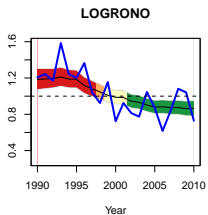
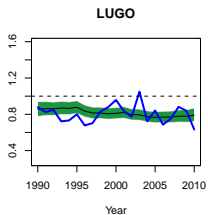
Pestaña 4: Resultados

- Distribuciones a posteriori de los riesgos relativos:



Pestaña 4: Resultados

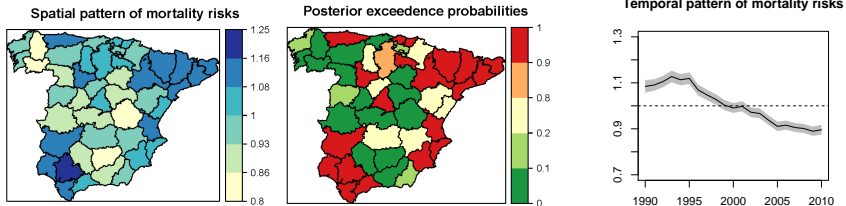
- Además, se pueden obtener gráficos con las evoluciones temporales específicas de cada área.



Pestaña 4: Resultados

- **Patrones a posteriori:**

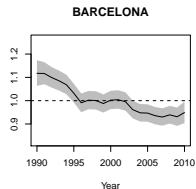
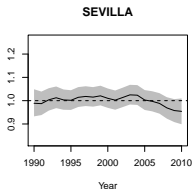
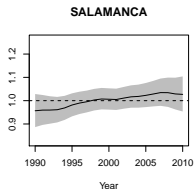
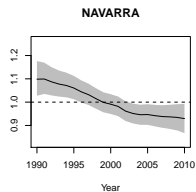
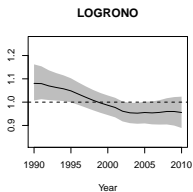
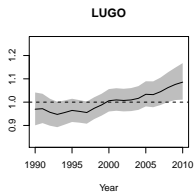
- Gráficos con las distribuciones a posteriori de los patrones espaciales y temporales.



Pestaña 4: Resultados

- **Patrones a posteriori:**

- Interacciones espacio-temporales para las provincias seleccionadas.



Conclusiones

- La aplicación SSTCDapp se ha desarrollado principalmente para estimar riesgos relativos (o tasas) utilizando modelos de *disease mapping* espaciales y espacio-temporales utilizando la técnica de inferencia Bayesiana aproximada INLA.
- Proporciona patrones espaciales, temporales y espacio-temporales separados junto con sus correspondientes intervalos de credibilidad y probabilidades a posteriori.
- La principal ventaja en comparación a otros programas utilizados en *disease mapping* es que proporciona una interfaz fácil de usar que permite al usuario ajustar modelos complejos sin la necesidad de instalar ningún software en sus ordenadores.

Desarrolladores y financiación

La aplicación SSTCDapp ha sido desarrollada por el grupo de investigación de Estadística Espacial de la Universidad Pública de Navarra, en el marco de investigación de los siguientes proyectos:

- Ministerio de Economía y Competitividad de España (proyecto MTM2014-51992-R).
- Departamento de Salud del Gobierno de Navarra (proyecto 113, Res.2186/2014).
- AEI/FEDER, UE (proyecto MTM2017-82553-R).

Para incidencias y soporte, utilice la siguiente cuenta de correo:

app.estadistica@unavarra.es