

# **Visualización de datos climáticos a través de herramientas interactivas: Una experiencia en la Región Chorotega**

Guillermo A. Durán <sup>1</sup>

Hugo G. Hidalgo <sup>2, 3</sup>

Eric J. Alfaro <sup>2, 3</sup>

<sup>1</sup> Proyecto B7507 Efectos del Cambio Climático observado sobre el ciclo hidrológico y la disponibilidad de recurso hídrico en la región Chorotega, CIGEFI. Universidad de Costa Rica

<sup>2</sup> CIGEFI. Universidad de Costa Rica

<sup>3</sup> Escuela de Física. Universidad de Costa Rica

Contacto: [gds506@gmail.com](mailto:gds506@gmail.com)

Twitter: gds506

# Proyecciones climáticas de GCMs CMIP5 para la Región Chorotega

## Motivación inicial:

Curso de climatología para estudiantes de Ingeniería Hidrológica (UNA-Liberia)

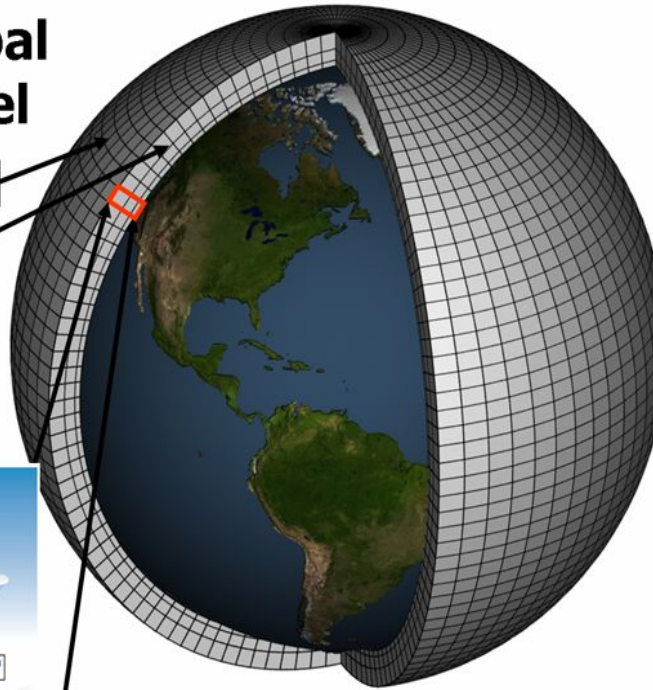
- **Mostrar visualmente:**
  - Diferencias entre las salidas de los distintos GCMs para temperaturas y lluvia.
  - ¿Qué son los escenarios de emisiones de gases (RCPs) y sus efectos en esas variables?
  - ¿Qué son los ensambles de modelos y qué podemos hacer con ellos - incertidumbre entre modelos?
  - Variabilidad geográfica entre las salidas de modelos (¿qué tan diferentes son los valores de las proyecciones para Liberia y Nicoya?)
  - ¿Cuáles son las tendencias a mediano y largo plazo de las proyecciones de esos modelos?
- Generar discusión sobre los efectos de generar políticas tomando en cuenta únicamente un modelo vs ensamble de modelos.

# ¿Qué son los modelos climáticos globales?

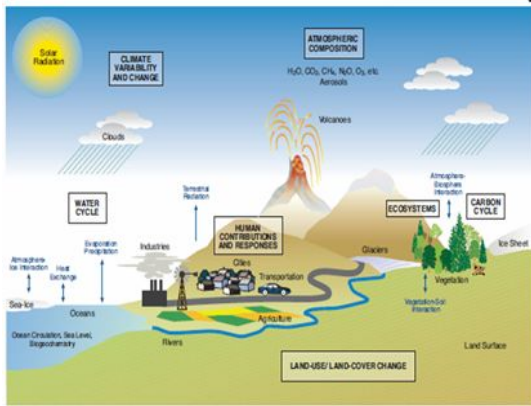
## Schematic for Global Atmospheric Model

Horizontal Grid (Latitude-Longitude)

Vertical Grid (Height or Pressure)



- Se basan en ecuaciones que representan procesos e interacciones que producen el clima.
- Modelan cómo interactúa la energía en el planeta.
- Generan diferentes variables climáticas (lluvia, temperatura, etc.)



### Dimensiones en cada GCM:

- Espacial (X , Y , Z)
- Temporal (horas - días - etc.)
- Variables (Lluvia, viento, etc.)
- Escenarios de emisiones de GEI

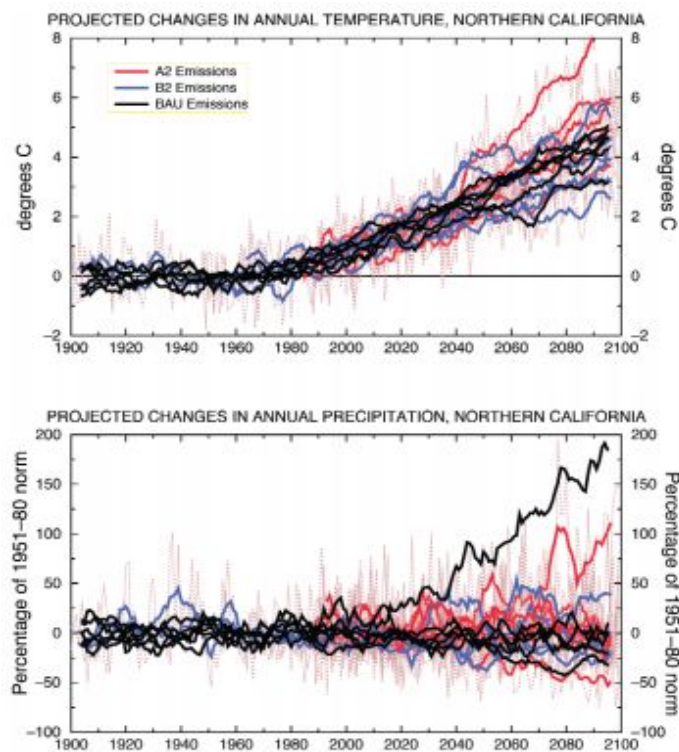
NOAA: [http://celebrating200years.noaa.gov/breakthroughs/climate\\_model/welcome.html](http://celebrating200years.noaa.gov/breakthroughs/climate_model/welcome.html)

Para más información sobre los modelos climáticos visitar:

<https://www.carbonbrief.org/qa-how-do-climate-models-work>

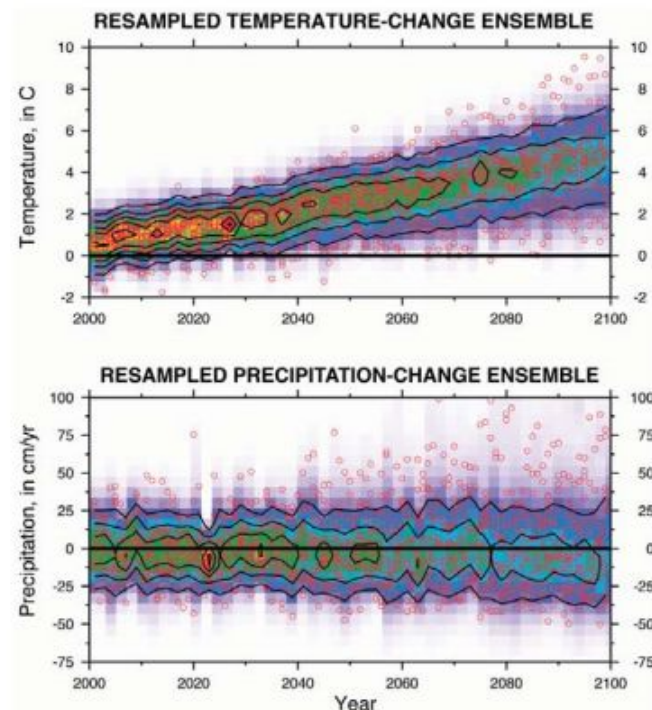
## From Climate-Change Spaghetti to Climate-Change Distributions for 21st Century California

Michael D. Dettinger  
U.S. Geological Survey  
mddettin@usgs.gov



**Figure 1.** Ensembles of historical and future temperature and precipitation projections from six coupled ocean-atmosphere general-circulation models, each forced by historical scenarios, and then—in the 21st Century—the A2, B2, and IS92a SRES emissions scenarios (Figure 2, Cubasch and Meehl 2001). The dashed background of curves shows annual deviations from the 1951–1980 simulated means; whereas, heavy curves show 7-year moving averages. Projections are for a single model grid cell (ranging from 2.5°C to 5.5°C spatial resolution, depending on model) from each model, centered over northern California.

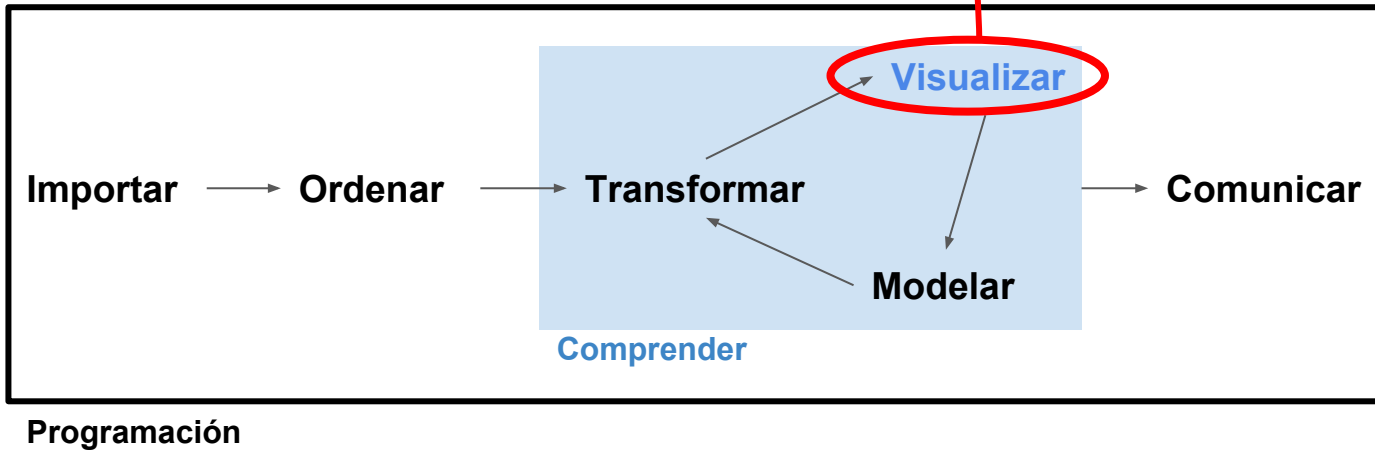
Dettinger, M. D. (2005). From climate-change spaghetti to climate-change distributions for 21st-century California. *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 3(1).



**Figure 3.** Distributions of original and component-resampled projections of annual 21st Century surface-air temperatures and precipitation changes for a grid cell over Northern California (40°N 120°W), from the ensemble of projections shown in Figure 1. Red circles show the raw ensemble projections; contours and shading show resampled joint temperature-precipitation probabilities, with a contour interval of 0.025.

# Las etapas del análisis de datos según Wickham

- Permite generar hipótesis rápidamente.
- Reduce la complejidad de los datos, haciéndolos más accesibles, entendibles y útiles.
- Parte arte y parte ciencia.
- ***El propósito de la visualización no es hacer ilustraciones si no comprender los datos.*** Ben Shneiderman
- ***Los gráficos han traído más información a la mente del analista que cualquier otro instrumento.*** John Tukey



# Ventajas de Shiny sobre otras tecnologías para visualización interactiva de datos en plataformas web.

1. Herramienta gratuita, tanto el software del servidor como el *paquete* de R.
2. Todo el código se puede escribir *en R*.
  - a. No hay necesidad de escribir código de otras tecnologías para crear herramientas de visualización *complejas*. (Nada de HTML, CSS, JavaScript, AJAX, PHP y/o SQL).
3. Facilidad para conectarse desde R a bases de datos (SQL y NoSQL).
4. Código para el UI (*user interface*) y *server* dentro de un mismo archivo.
5. Compatibilidad con las demás herramientas del *Tidyverse*.
6. Soporte y ayuda tanto dentro del sitio de RStudio como en Stackoverflow.
7. **Reproducibilidad**.



# ¿Existen otras herramientas desarrolladas en Shiny para visualizar datos climáticos?

## ShowMeShiny.com

- Galería de 166 herramientas.
  - 16 son para visualizar datos climáticos (~ 9%).
    - 1 relacionada a datos de cambio/variabilidad climática.

### CLIMATE CHANGE IN MAJOR CITIES

🗨️ Leave a comment

This Shiny App provides a fast and easy way to explore the “Earth Surface Temperature Data” published on Kaggle and compiled originally by “Berkeley Earth”. Here you can plot the average temperature over time from 1900-2014 in 100 major cities. The model used is a Generalized Additive Model (GAM)

**Author:** Unknown

**App:** [https://omaymas.shinyapps.io/Exploring\\_Climate\\_Change\\_1900-2014/](https://omaymas.shinyapps.io/Exploring_Climate_Change_1900-2014/)

**Code:** [https://github.com/OmaymaS/Climate-Change-1900-2014/tree/master/Shiny\\_ClimateChange](https://github.com/OmaymaS/Climate-Change-1900-2014/tree/master/Shiny_ClimateChange)

### Climate Change in Major Cities (1900-2014)

Type/Select one or more cities:

City

Jakarta Rio De Janeiro

Type/Select one or more months:

Month

Jan

Select type of plot:

Plots

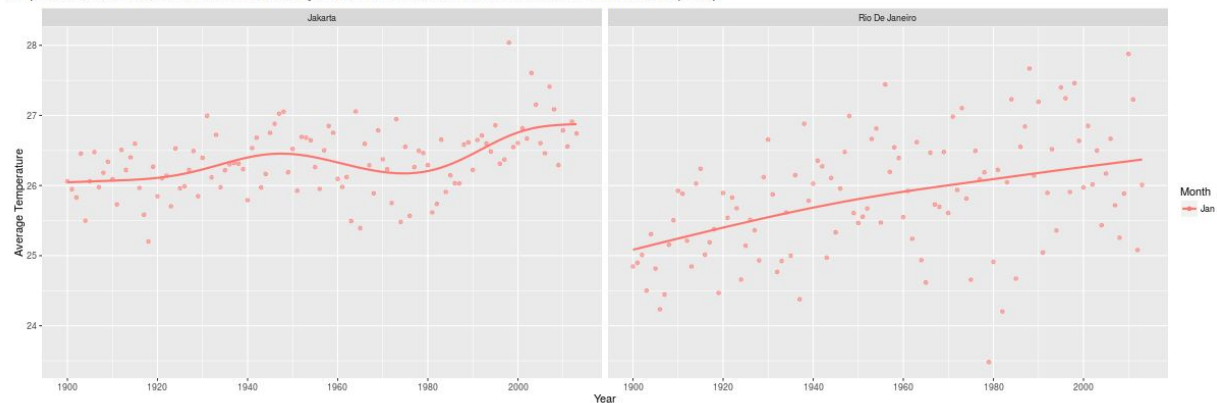
☒ GAM Plot

☒ Point Plot

Note that : “Early data was collected by technicians using mercury thermometers, where any variation in the visit time impacted measurements. In the 1940s, the construction of airports caused many weather stations to be moved. In the 1980s, there was a move to electronic thermometers that are said to have a cooling bias.”

[Source](#)

This Shiny App provides a fast and easy way to explore the “Earth Surface Temperature Data” published on Kaggle and compiled originally by “Berkeley Earth”. Here you can plot the average temperature over time from 1900-2014 in 100 major cities. The model used is a Generalized Additive Model (GAM)



# Primer experiencia:

- Interés en análisis de ensambles de modelos para observar la concordancia y/o diferencia de valores entre escenarios, cambios en la estacionalidad mensual y tendencias.
- Datos diarios de NEX-GDDP para la celda que cubre Liberia.
  - 7 GCMs con mejor ranking según el artículo de Hidalgo y Alfaro (2015).
- Descarga de datos a través del sitio [PlanetOS](#) (ahora sin funcionamiento por fin de financiamiento 🙄).
  - Opción para descargar en netcdf o csv, periodo de tiempo, escenario, modelos, área, etc.
- Preparación de los datos:
  - Conversión de tabla a data frame.
  - Tablas para promedios de temperatura anuales/mensuales y total de precipitación anual/mensual. Para las tablas mensuales se calculó un promedio para períodos de 5 años).
  - Casi todo el procesamiento/manipulación fue hecho con las herramientas del *Tidyverse*.

Enlace: <http://hidrocecsig.una.ac.cr/shiny/GCMsLiberia/>



# Exploración gráfica de siete modelos climáticos globales (GCMs) para los alrededores de Liberia, Guanacaste, Costa Rica.

## Seleccionar GCMs:

- ☒ CCSM4
- ☒ CESM1-BGC
- ☒ CNRM-CM5
- ☒ MIROC5
- ☒ MPI-ESM-LR
- ☒ MPI-ESM-MR
- ☒ MRI-CGCM3

## Seleccionar escenario futuro:

- ☒ RCP 4.5
- ☐ RCP 8.5

## Seleccionar periodo de años:

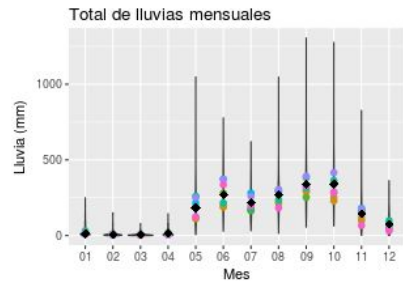
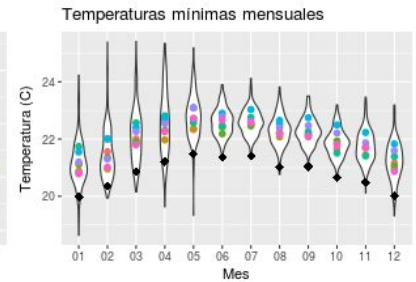
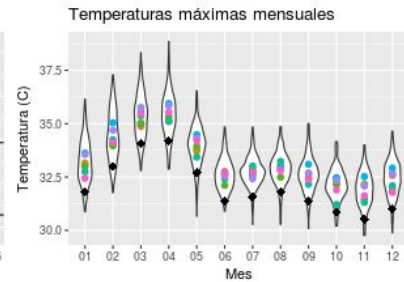
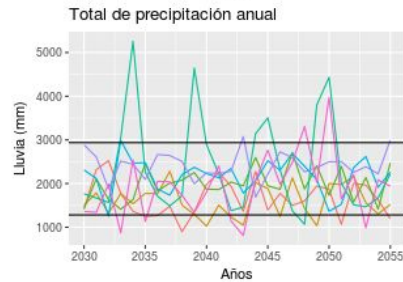
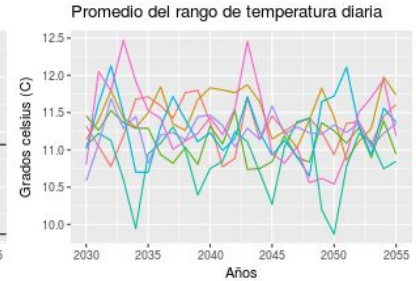
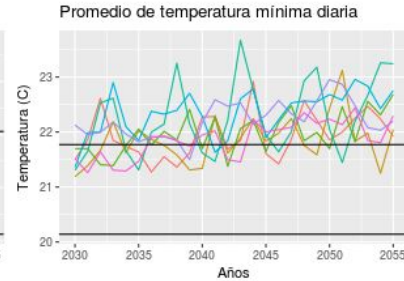
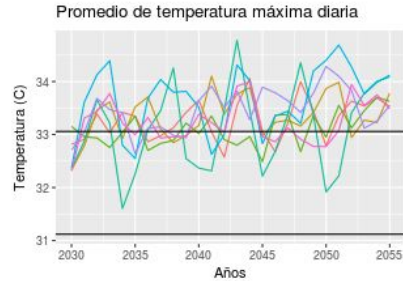


☐ Mostrar línea de tendencia para los GCMs seleccionados.

Graficar

## Nota:

- Los siete GCMs se escogieron con base en los mejores 30 GCMs del estudio 'Skill of CMIP5 climate models in reproducing 20th century basic climate features in Central America' de Hidalgo y Alfaro (2015).
- Datos tomados del set de datos NEX-GDDP, con resolución espacial de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ \sim 25\text{km} \times 25\text{km}$ .
- Las líneas negras horizontales representan el 5 y 95 percentil de los datos históricos modelados (1950 a 2005).
- Los puntos a colores que se muestran en los gráficos de distribuciones mensuales son la media de cada modelo, los rombos negros son la media de las distribuciones de los datos históricos modelados (1950 a 2005). El gráfico de violín incluye las distribuciones unidas de los modelos seleccionados.



Modelo

- CCSM4
- CESM1-BGC
- CNRM-CM5
- MIROC5
- MPI-ESM-LR
- MPI-ESM-MR
- MRI-CGCM3

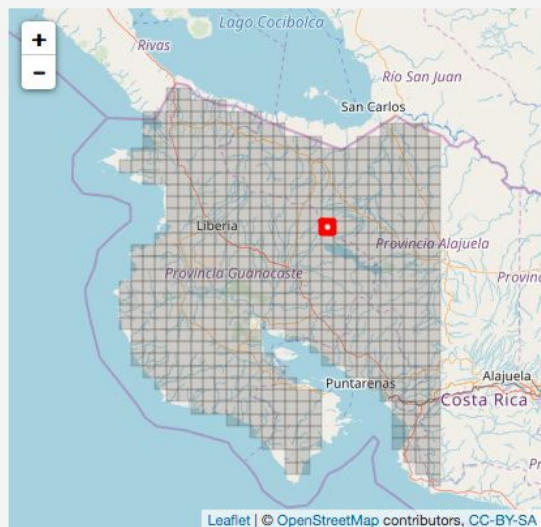
## Segunda experiencia:

- Se agrega el componente espacial para seleccionar individualmente las celdas con la información a graficar.
- Se utilizan valores mensuales de los 12 mejores GCMs en escala fina (5km x 5 km) del artículo de Hidalgo y Alfaro (2015).
- Preparación de datos:
  - Conversión de la tabla a *data frame*.
  - Creación de grilla con extensión del área de estudio.
  - Tablas para promedios de temperatura anuales/mensuales y total de precipitación anual/mensual. Para las tablas mensuales se calculó un promedio para períodos de 10 años.
  - Para los filtros en el servidor se utilizó la herramienta data.table en vez de dplyr (¡mejora de ~ 8 segundos de espera!)

Enlace: <http://hidrocecsig.una.ac.cr/shiny/GCMsChorotegaApp/>

# Exploración gráfica de modelos climáticos globales (GCMs) para la región Chorotega. Costa Rica.

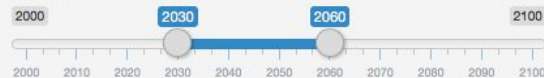
Seleccionar celda:



Seleccionar escenario futuro:

- ☒ RCP 4.5  
☐ RCP 8.5

Seleccionar periodo de años:

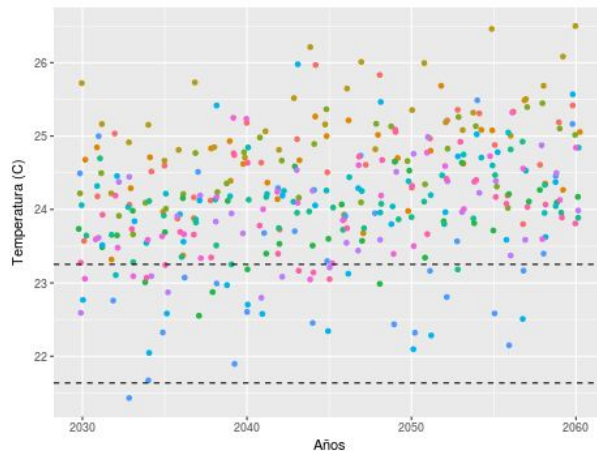


☐ Mostrar línea de tendencia.

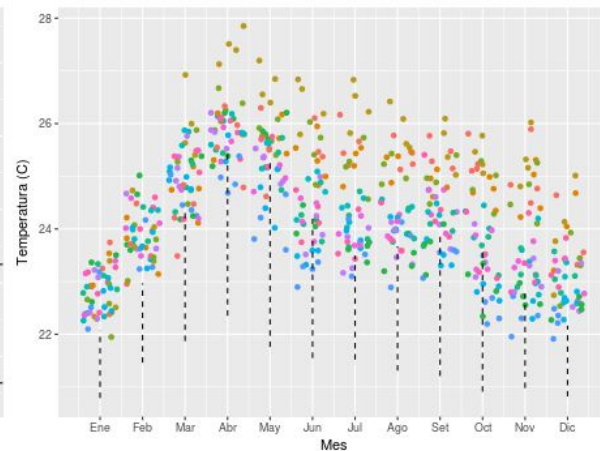
**Nota:**

- Las líneas punteadas representan el rango entre los percentiles 5 y 95 de los datos históricos modelados (1979 a 1999).
- Si no se selecciona una celda, los gráficos muestran los valores para el área que cubre todas las celdas.
- La línea de tendencia está calculada por medio de una regresión local (LOESS).

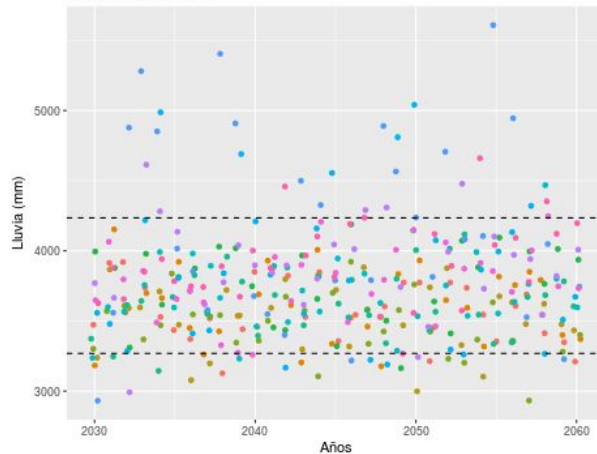
Promedio anual de temperatura mensual



Promedio de temperatura mensual



Total de lluvia anual



Total de lluvia mensual



Modelos

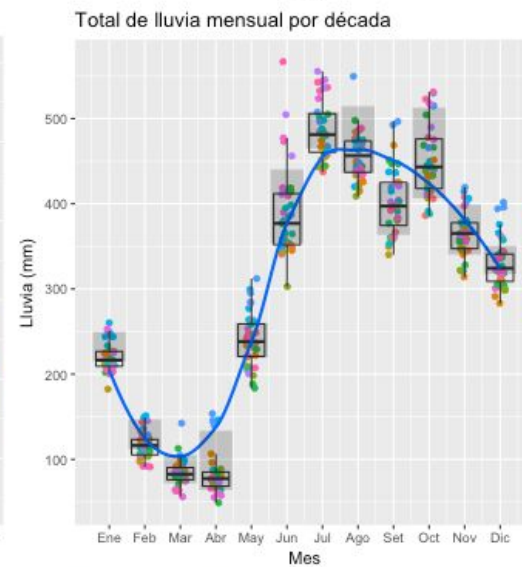
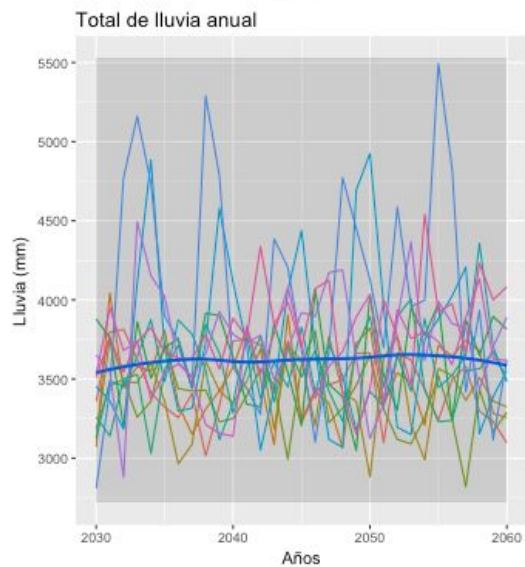
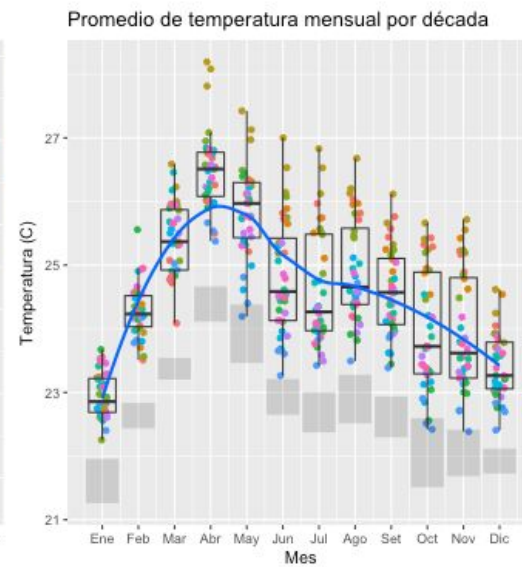
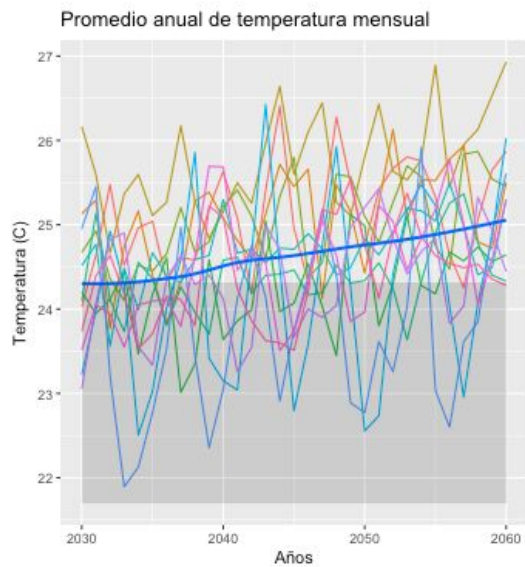
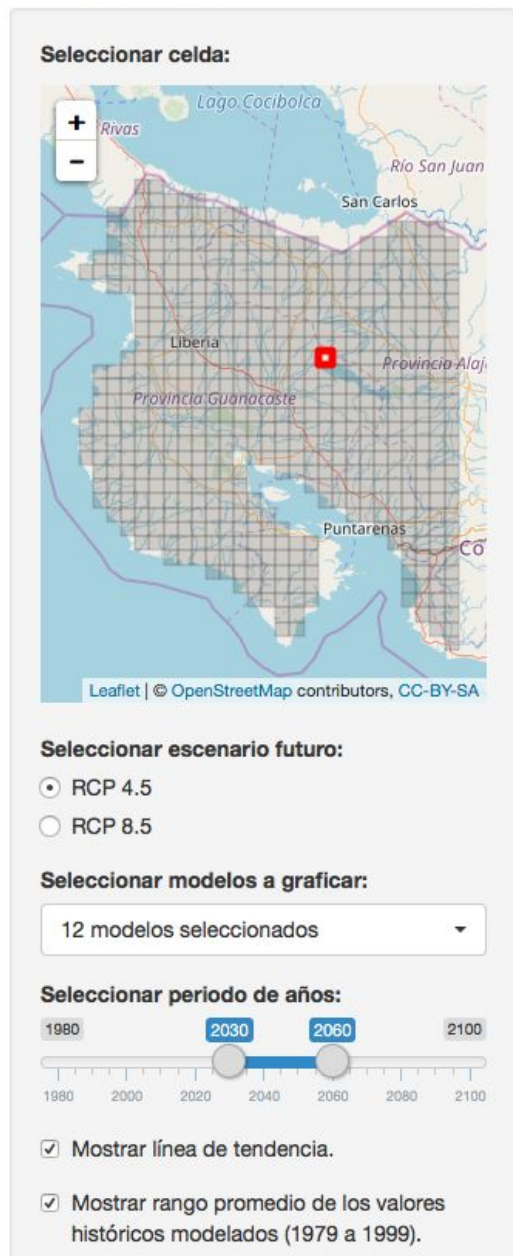
ccsm4_r1i1p1	cesm1_cam5_r2i1p1	giss_e2_r1i1p1	mpi_esm_lr_r1i1p1
ccsm4_r2i1p1	cnrc_cm5_r1i1p1	miroc5_r1i1p1	mpi_esm_lr_r2i1p1
cesm1_cam5_r1i1p1	ec_earth_r2i1p1	miroc5_r3i1p1	mpi_esm_lr_r3i1p1

# Versión mejorada de la segunda herramienta:

- Boxplots para valores mensuales.
- Opción de selección de modelos para graficar (shinyWidgets).
- Serie de tiempo mostradas como líneas en gráficos anuales.
- Periodo de tiempo desde 1979 (1980) hasta 2100.



# Exploración gráfica de modelos climáticos globales (GCMs) para la región Chorotega. Costa Rica.



Modelos

- ccsm4\_r1i1p1
- ccsm4\_r2i1p1
- cesm1\_cam5\_r1i1p1
- cesm1\_cam5\_r2i1p1
- cmcc\_cms\_r1i1p1
- ec\_earth\_r2i1p1
- giss\_e2\_r1i1p1
- miroc5\_r1i1p1
- miroc5\_r3i1p1
- giss\_e2\_r2i1p1
- mpi\_esm\_lr\_r1i1p1
- mpi\_esm\_lr\_r2i1p1
- mpi\_esm\_lr\_r3i1p1

## Tercera herramienta:

- Utiliza ShinyDashboard
- Desplegar datos a través de mapas geográficos.
- Agregar los datos a distintas escalas: divisiones políticas (cantones y distritos).
- Explorar las ventajas de utilizar otros niveles de interactividad a través de herramientas como ggiraph, ggvis y altair.
- Parte de los productos del proyecto UCREA: Desarrollo y Resiliencia de Cambio Climático en el Corredor Seco Centroamericano.

Enlace a video de herramienta: <https://youtu.be/ukHDq26nGxc>



## Controles

## Seleccionar cantón:

Carrillo ▼

## Seleccionar distrito:

Filadelfia ▼

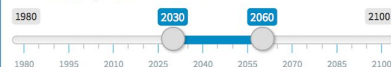
## Seleccionar escenario de emisiones:

- ☒ RCP 4.5  
☐ RCP 8.5

## Seleccionar modelos de circulación global (GCMs):

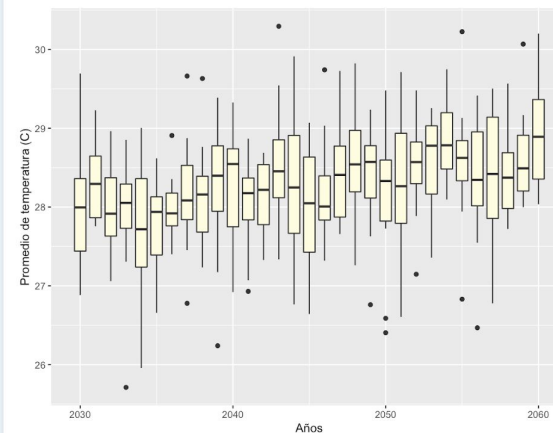
12 modelos seleccionados ▼

## Seleccionar periodo de años:



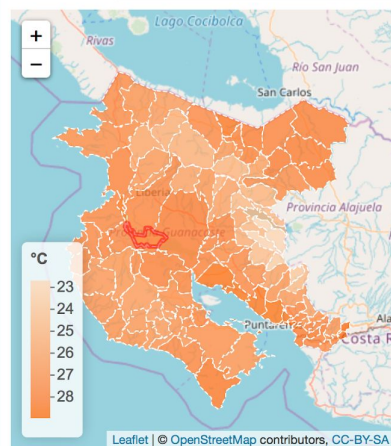
## Temperatura

Anual Mensual



## Temperatura

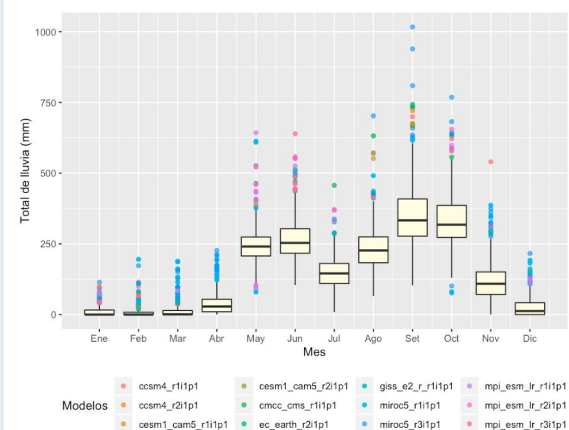
## Lluvia



Mapa del promedio de temperatura por distrito para el período de tiempo seleccionado.

## Lluvia

Anual Mensual



## Notas sobre la herramienta:

- Los GCMs utilizados se seleccionaron con base en el estudio *Skill of CMIP5 climate models in reproducing 20th century basic climate features in Central America* de Hidalgo y Alfaro (2015).
- Los cálculos de los valores de cada distrito se hicieron con base en GCMs reducidos en escala a 5km x 5km. La reducción de escala también fue realizada por Hidalgo y Alfaro.
- [En este enlace](#) se encuentra información en español sobre los escenarios *Representative Concentration Pathways* (RCP) del Quinto Informe del IPCC.
- El código de la herramienta se encuentra disponible en [GitHub](#).

Esta herramienta fue desarrollada en el [Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica \(CIGEFI\)](#) por Guillermo Durán, Erick Alfaro y Hugo Hidalgo.

Última actualización 7-5-2018.

# Consideraciones y recomendaciones luego de desarrollar estas herramientas en Shiny

- Capacidad de respuesta de la herramienta (*responsiveness*)
  - Características del servidor donde se correrá la herramienta (especialmente memoria RAM).
  - Disminuir tiempo de procesamiento = usar **data.table** !!
  - Herramienta [profvis](#) para investigar tiempos de procesamiento.
  - Tener en cuenta las limitaciones que tiene R como programa.
- Control de versiones
  - Facilidad para utilizar dentro de RStudio.
  - Todo el historial del desarrollo de la herramienta está disponible en GitHub.
- Stackoverflow
- ¿Desempeño del **Shiny Server open source** en ambiente de producción ~ *con alto tráfico*?

## Nota aparte:

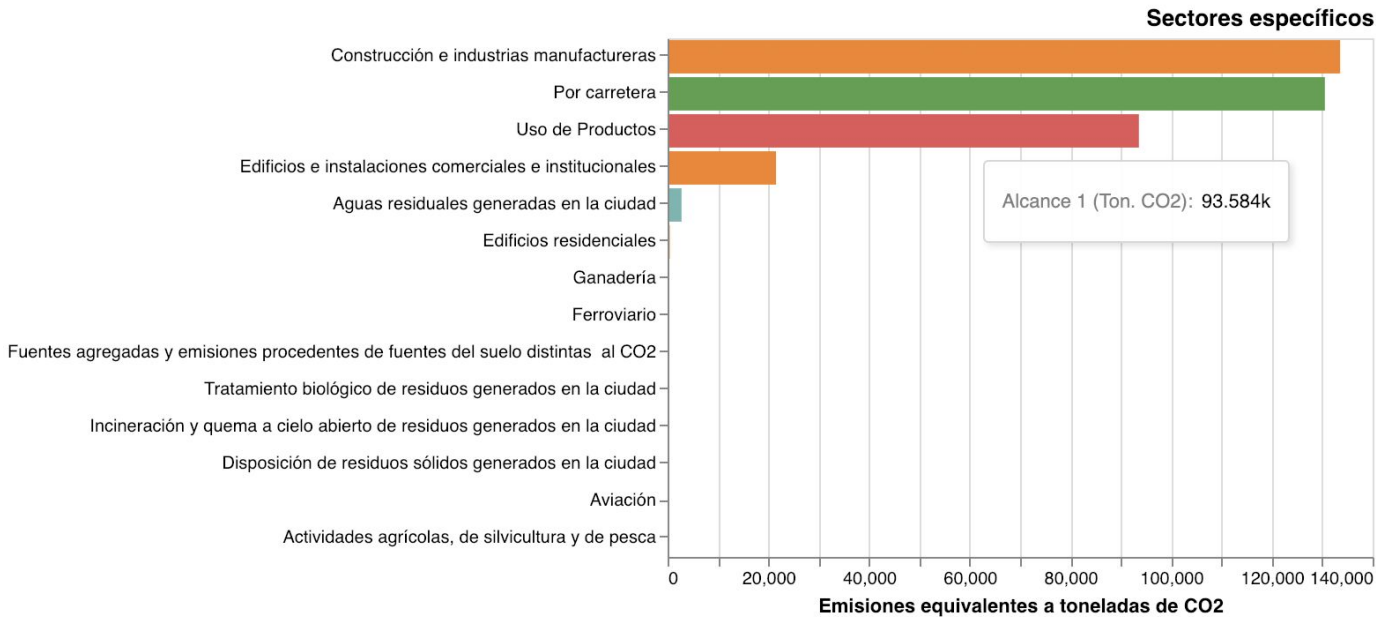
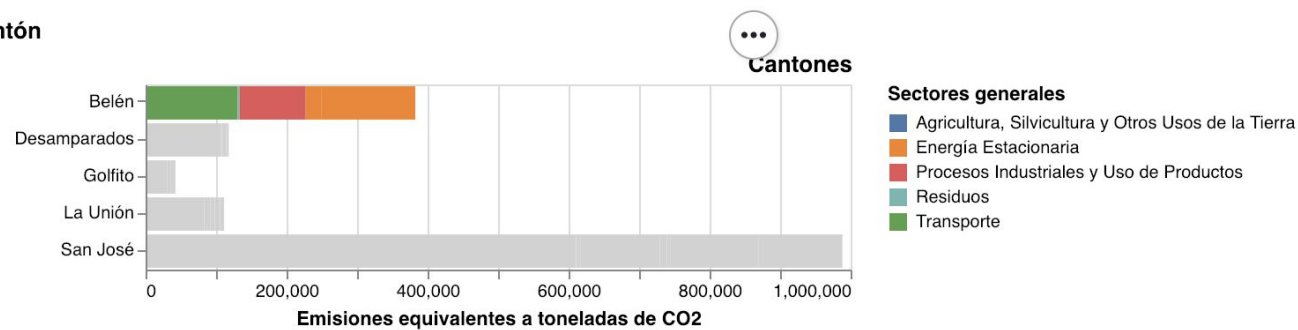
Una experiencia con otras herramientas

## Librería Altair

- Librería de Python que corre en R a través del paquete **reticulate**
- Utiliza la gramática de gráficos interactivos de la librería de JavaScript **Vega-Lite**.
- Realiza la interactividad desde el web browser (nada de *back end*).
- El código de los gráficos se puede exportar como JavaScript e importar en otras páginas web.
- Limitación para tablas pequeñas (  $\leq 5000$  filas )

Enlace a notebook: <https://guialdus.github.io/CantonalProgramaPaisCaNeutral/>

Emisiones de Alcance 1 por sectores según cantón



## Agradecimientos:

- Ana María Durán Quesada, PI del proyecto *Efectos del Cambio Climático observado sobre el ciclo hidrológico y la disponibilidad de recurso hídrico en la región Chorotega*.
- Sede Chorotega de la Universidad Nacional y Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (**HIDROCEC-UNA**).
- Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica (**CIGEFI**).
- Healy Hamilton y Miguel Fernández (NatureServe).

## Referencias:

- Hidalgo, H. G., & Alfaro, E. J. (2015). Skill of CMIP5 climate models in reproducing 20th century basic climate features in Central America. *International Journal of Climatology*, 35(12), 3397-3421. <https://doi.org/10.1002/joc.4216>
- Dettinger, M. D. (2005). From climate-change spaghetti to climate-change distributions for 21st Century California. *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 3(1).