



## De Galicia a Ecuador. Ida y vuelta en R

**Salvador Naya, Javier Tarrío  
Antonio Meneses, Miguel Flores e Yaroslava Robles**

Santiago de Compostela. 10 de Outubro de 2019

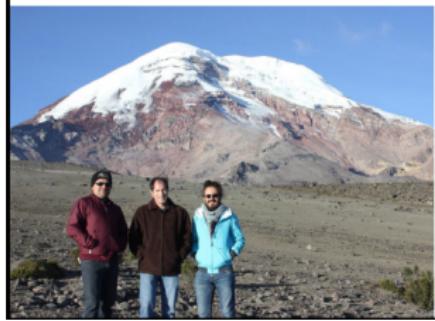
# Contenidos

- 1 Viaje a Quito. 2015
- 2 FCGR y TTS: Estudios de fatiga y curva maestra
- 3 qcr e ILS: Control de Calidad e Interlaboratorio
  - Introducción qcr funcional
  - Fase I
  - Fase II
- 4 Modelización de la degradación de biomateriales
- 5 Conclusiones
- 6 Bibliografía

# Con Antonio, Miguel y Yaroslava en el congreso de Estadística Aplicada organizado por la SEE



# Diferentes actos en Ecuador



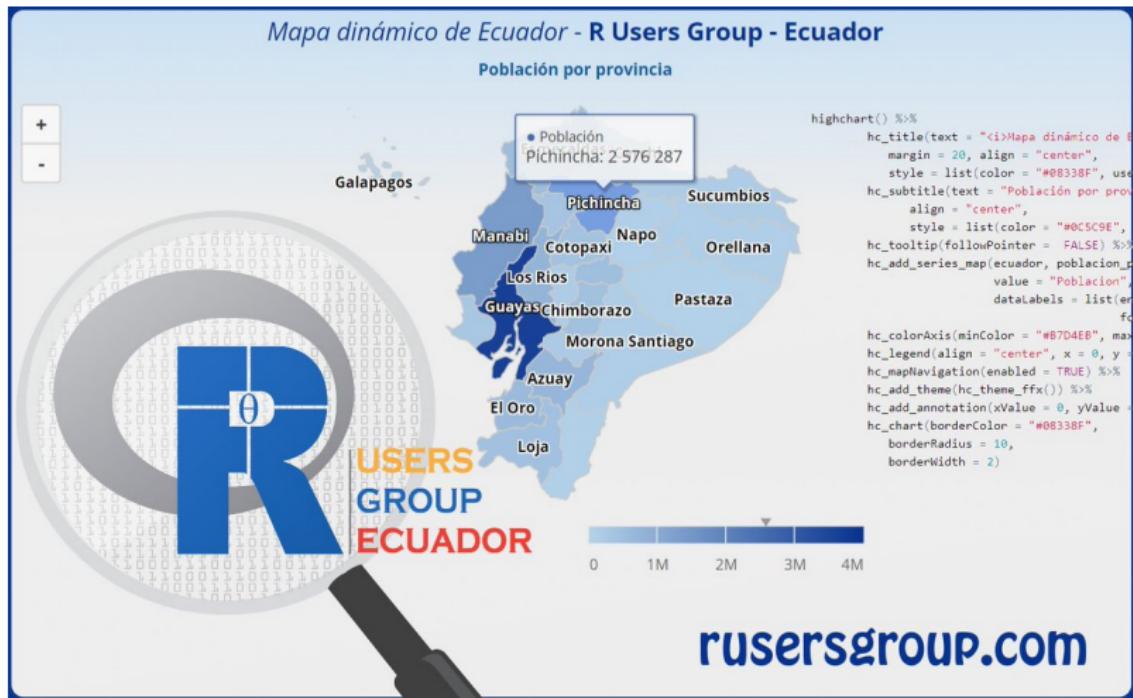
**11-15 NOVIEMBRE DE 2013  
QUITO - ECUADOR**

**ORGANIZADOR**

**CO-ORGANIZADORES Y SEDES**  
  
 Dirección  
Av. 12 de Octubre 1016 y Pineda  
**PELACO**  
  
 Dirección  
Av. 12 de Octubre 1016 y Pineda  
**CEQUINOR**  
  
 Quito, Ecuador

**AVAL ACADÉMICO**  
  
**AUSPICANTES**  
  
 PLACO, ECUADOR, RICOH, COCA-COLA

# Grupo de R en Ecuador. R Users Group-Ecuador



# Diferentes actividades del R Users Group-Ecuador



**CONGRESO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESPE 2019**  
**CAPÍTULO: ESTADÍSTICA APLICADA A SOLUCIONES INDUSTRIALES Y EMPRESA ITALIS**

**I CONGRESO INTERNACIONAL DE USUARIOS GRUPO R USERS ECUADOR**  
 7-8 noviembre/2019

**ESPE**  
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**R** Users Group Ecuador

## Statistical & Machine Learning

Técnicas de aprendizaje

Supervisado - semi supervisado - no supervisado

Quito | 16 - 17 nov | 23 - 24

30 nov - 1 dic.



## DETECCIÓN DE ANOMALÍAS CON R

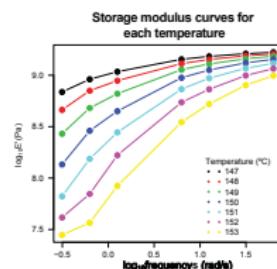
Aplicaciones en:

- Aseguramiento de ingresos (Telecomunicación)
- Detección de fraude (Finanzas)
- Eficiencia Energética (Industria 4.0)
- Estudios Interdisciplinario (Metrología 4.0)
- Ciberseguridad (Internet)

40 horas presenciales

## Paquetes Time Temperature Superposition (TTS) y Fracture Crack Growth (FCGR)

- **Estimación de la distribución de tiempos de fallo de materiales sometidos a fatiga.**
- **Aplicación del principio de Superposición Tiempo temperatura para estimar las propiedades mecánicas de materiales amorfos en un rango de tiempos y frecuencias mucho más grande que el experimental.**
  - **Se ha desarrollado el paquete FCGR en software R.**
  - **Se ha formulado estadísticamente el principio TTS.**
  - **Se ha desarrollado el paquete TTS en software R.**



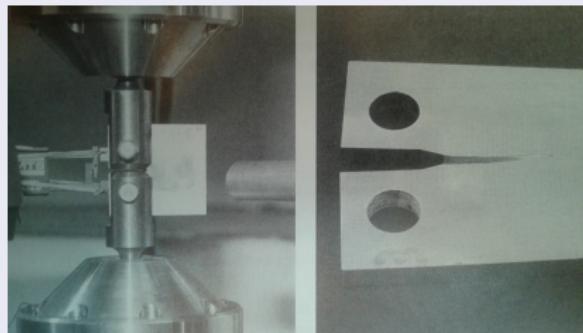
**Participantes:**

**Antonio Meneses**



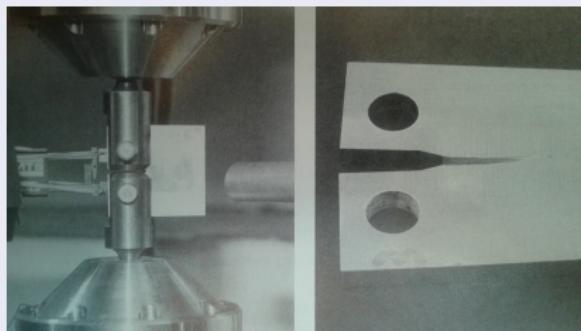
# El problema del crecimiento de grietas por fatiga

## Máquina de fatiga

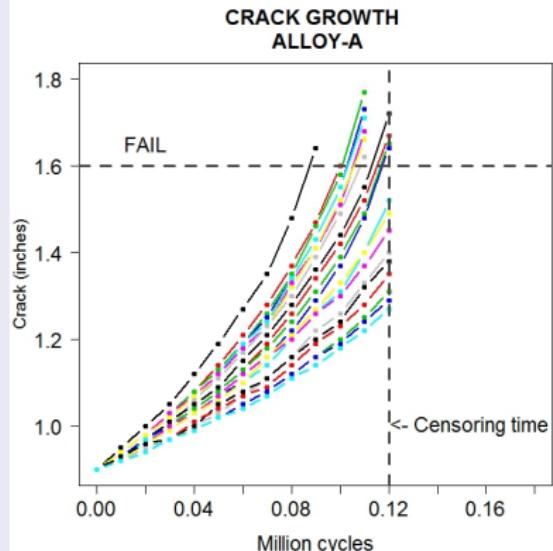


# El problema del crecimiento de grietas por fatiga

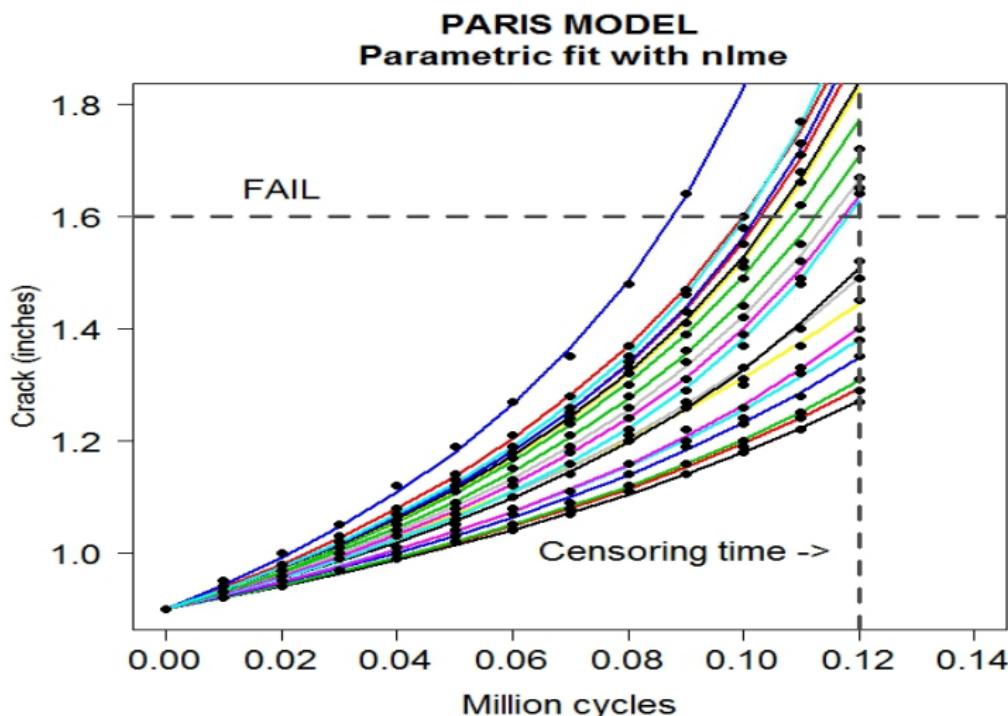
## Máquina de fatiga



## Grieta (Y) y N ciclos (X)



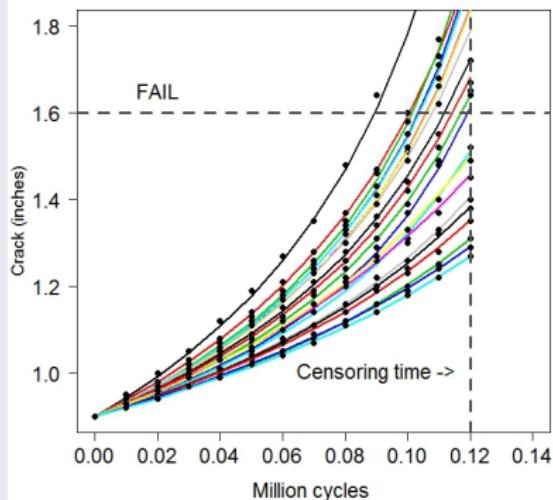
# Modelo de Paris para crecimiento de grietas



# Estimaciones con lme y nlme

## lme

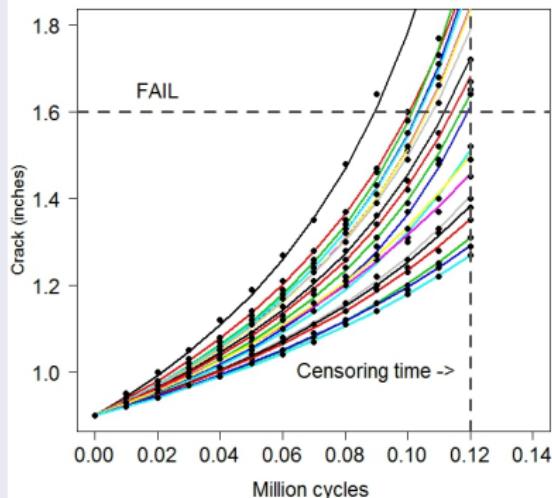
PARIS MODEL: Fit with lme



# Estimaciones con lme y nlme

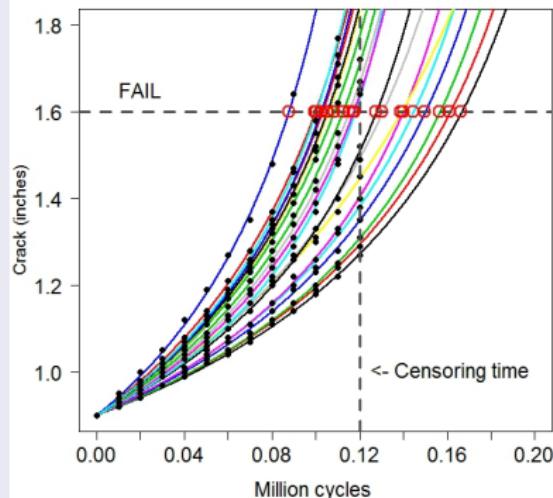
## lme

PARIS MODEL: Fit with lme



## nlme

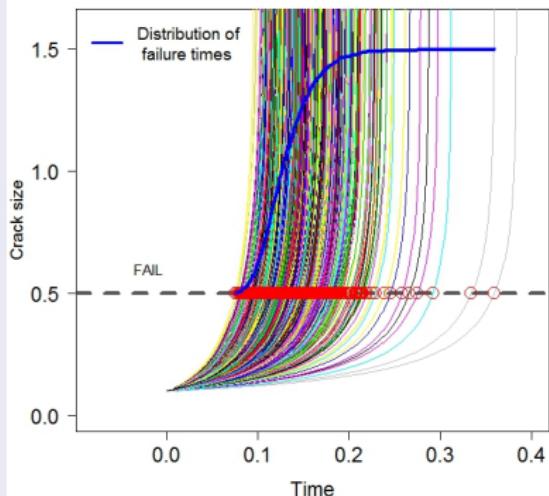
PARIS MODEL: Parametric fit with nlme,  
 Prediction



# Estudio de Simulación

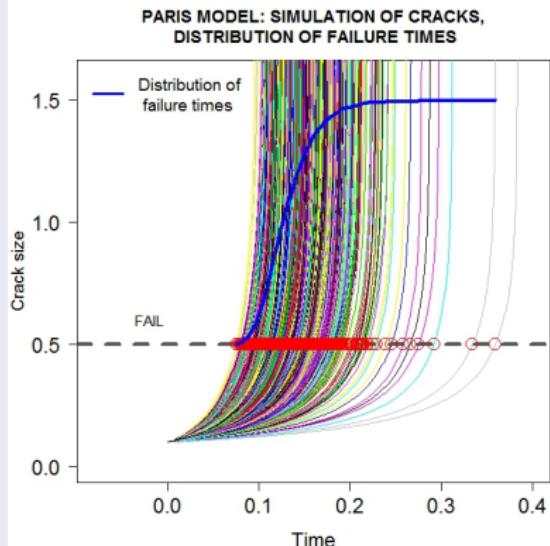
con Ime

PARIS MODEL: SIMULATION OF CRACKS,  
DISTRIBUTION OF FAILURE TIMES

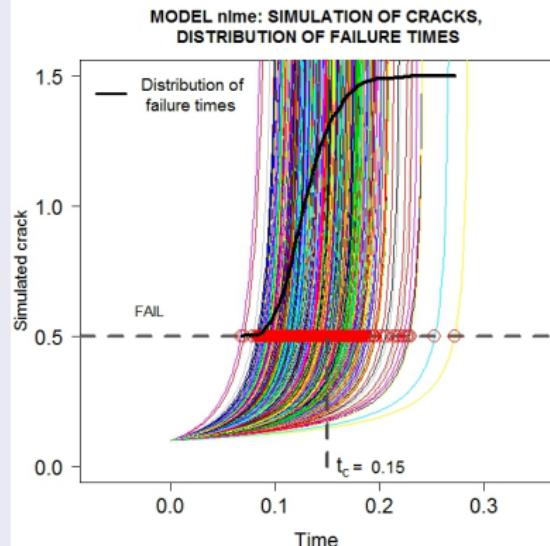


# Estudio de Simulación

con lme



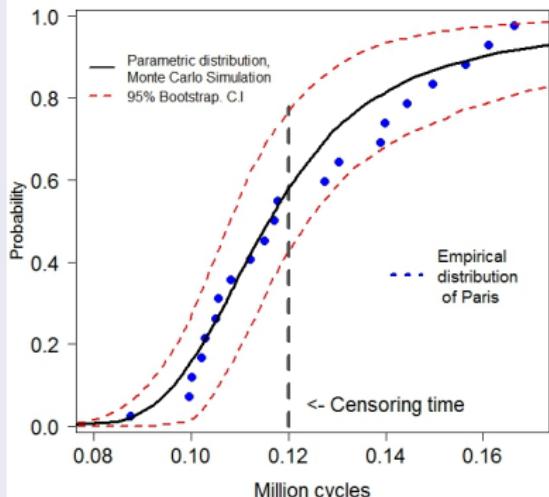
con nlme



# Estimación tiempo de vida

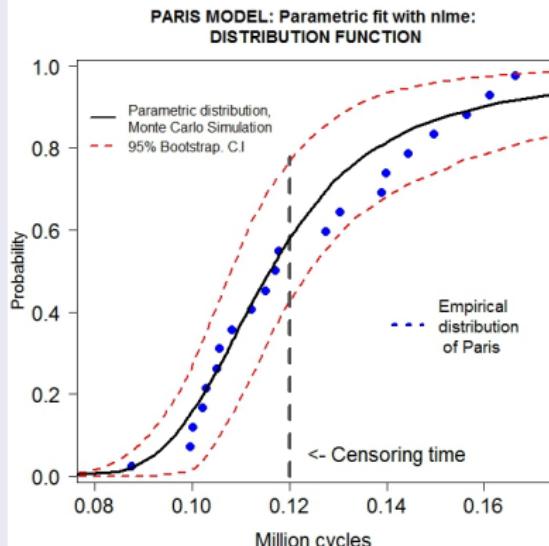
con lme

PARIS MODEL: Parametric fit with nlme:  
DISTRIBUTION FUNCTION

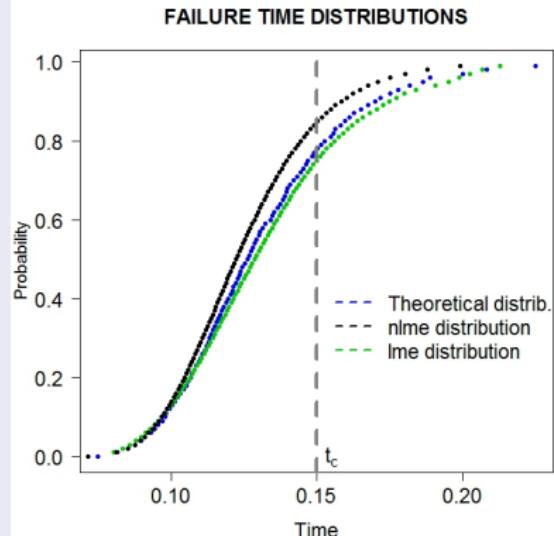


# Estimación tiempo de vida

con lme



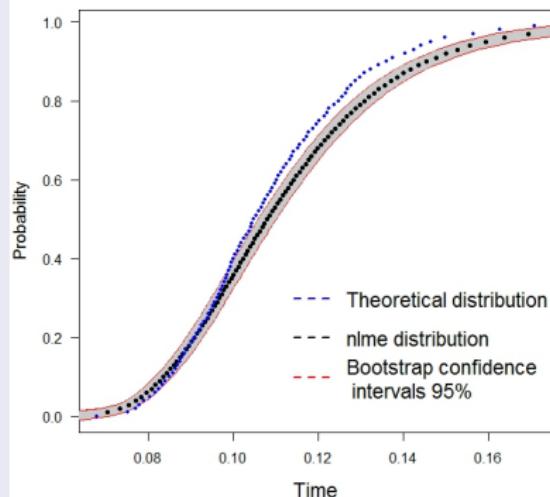
con nlme



# Estimación tiempo de vida

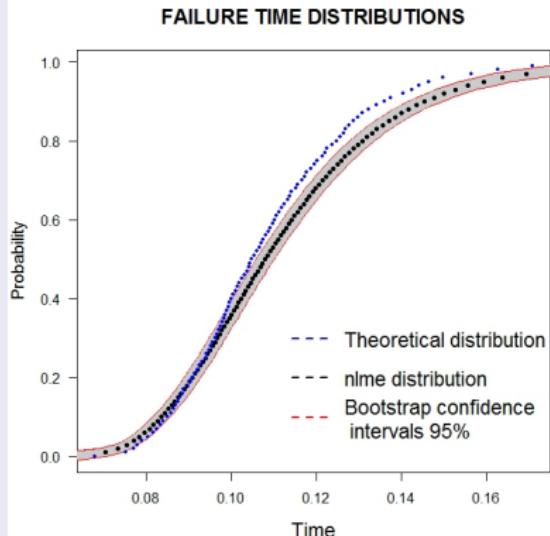
con nlme

FAILURE TIME DISTRIBUTIONS

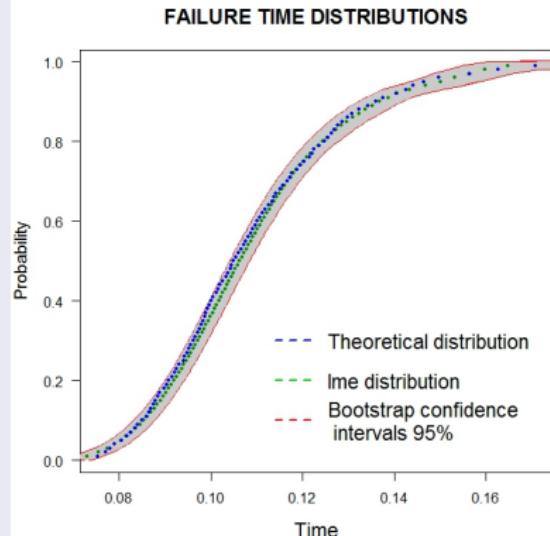


# Estimación tiempo de vida

con nlme



con lme

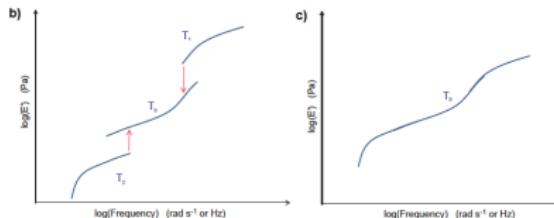


# Estimación curva maestra (TTS)

## TTS. Experimentos

### Superposición Tiempo/Temperatura (TTS)

- ▶ **Curva maestra:** Es la tendencia de una determinada propiedad mecánica, estimada a una temperatura dada  $T_0$ .

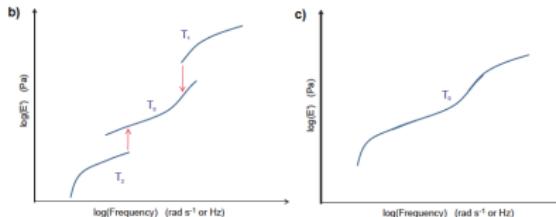


# Estimación curva maestra (TTS)

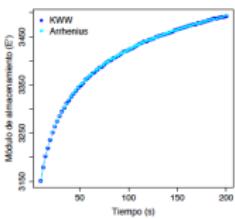
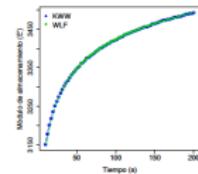
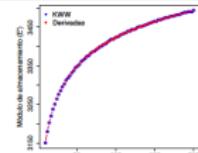
## TTS. Experimentos

### Superposición Tiempo/Temperatura (TTS)

- Curva maestra: Es la tendencia de una determinada propiedad mecánica, estimada a una temperatura dada  $T_0$ .



## TTS. Curva maestra



| Método    | MSE     |
|-----------|---------|
| Derivadas | 1.7194  |
| WLF       | 15.6761 |
| Arrhenius | 2.2178  |

# Paquetes FCGR y TTS

## Paquete FCGR

### Package ‘FCGR’

September 30, 2015

Type Package

Title Fatigue Crack Growth in Reliability

Version 1.0

Date 2015-09-29

Author Antonio Meneses <[antonio.meneses@fcf.unicv.edu.ec](mailto:antonio.meneses@fcf.unicv.edu.ec)>, Salvador Naya <[s.naya@udec.cl](mailto:s.naya@udec.cl)>,  
 Javier Tarrio-Sanzola <[jtarrio@udec.cl](mailto:jtarrio@udec.cl)>, Ignacio Lopez-Alberdi <[ilop@udec.cl](mailto:ilop@udec.cl)>

Maintainer Antonio Meneses <[antonio.meneses@fcf.unicv.edu.ec](mailto:antonio.meneses@fcf.unicv.edu.ec)>

Depends R (>= 3.0.1), nlmrt, MASS, rmgcv, splines, KernSmooth, survival, kerest

Description This package estimates the distribution of material lifetime due to mechanical fatigue effects. The FCGR package provides simultaneous crack growth curves fitting to different specimens in materials under mechanical stress effects.

This package uses the work function method assuming B-Splines and the Inverted Paris-Erdogan law are applied. Once defined the fit for a determined crack length, the distribution function of failure times to fatigue is obtained. The density function is estimated by applying nonparametric kernel density estimate (mkde) and the kernel estimator of the distribution function (kde). The results of Pinheiro and Bates method based on nonlinear mixed-effects regression (nlme) can be also retrieved. The package contains the crack.growth, PLOTcg, IB.F, and Alca.A (database) functions.

License GPL (>= 2) |LazyData yes

Needs compilation no

R topics documented:

|              |   |
|--------------|---|
| FCGR-package | 2 |
| Alca.A       | 3 |
| crack.growth | 3 |
| IB.F         | 5 |
| PLOTcg       | 7 |



# Paquetes FCGR y TTS

## Paquete FCGR

### Package 'FCGR'

September 30, 2015

Type Package

Title Fatigue Crack Growth in Reliability

Version 1.0

Date 2015-09-29

Author Antonio Meneses <[antonio.meneses@freire@hotmail.com](mailto:antonio.meneses@freire@hotmail.com)>, Salvador Naya <[senaya@udec.edu](mailto:senaya@udec.edu)>,  
 Javier Tarrio-Sarveda <[jtarrio@udec.edu](mailto:jtarrio@udec.edu)>, Ignacio Lopez-Alburquerque <[il10@udec.edu](mailto:il10@udec.edu)>

Maintainer Antonio Meneses <[antonio.meneses@freire@hotmail.com](mailto:antonio.meneses@freire@hotmail.com)>

Depends R (>= 3.0.1), nlmrt, MASS, mgcv, splines, pspline, KernSmooth, sfsmisc, kerfist

Description This package estimates the distribution of material lifetime due to mechanical fatigue effects. The FCGR package provides simultaneous crack growth curves fitting to different specimens in materials under mechanical stress effects.

The main function 'FCGR' uses B-splines and the Inverted Park-Erdogan law are applied. Once defined the fit for a determined crack length, the distribution function of failure times to fatigue is obtained. The density function is estimated by applying nonparametric kernel density estimate (kde) and the kernel estimator of the distribution function (kdf). The results of Pinheiro and Bates method based on nonlinear mixed-effects regression (nlme) can be also retrieved. The package contains the crack growth, PLOTFCG, IB.F, and Alca.A (database) functions.

License GPL (>= 2) | LazyData yes

NeedsCompilation no

R topics documented:

|              |   |
|--------------|---|
| FCGR-package | 2 |
| Alca.A       | 3 |
| crack growth | 3 |
| IB.F         | 3 |
| PLOTFCG      | 7 |



## Paquete TTS

**Objetivo:** Proporcionar a los usuarios una herramienta para realizar análisis TTS: mediante un enfoque tradicional paramétrico (Arrhenius, W-L-F) y nueva alternativa flexible.

### Package 'TTS'

September 26, 2015

Title Master Curve Estimates Corresponding to Time-Temperature Superposition

Version 1.0

Date 2015-09-14

Author Antonio Meneses <[antonio.meneses@freire@hotmail.com](mailto:antonio.meneses@freire@hotmail.com)>,  
 Salvador Naya <[senaya@udec.edu](mailto:senaya@udec.edu)>, Javier Tarrio-Sarveda <[jtarrio@udec.edu](mailto:jtarrio@udec.edu)>

Maintainer Antonio Meneses <[antonio.meneses@freire@hotmail.com](mailto:antonio.meneses@freire@hotmail.com)>

Depends R (>= 3.0.1), mgcv, sfsmisc, splines

Description Time-Temperature Superposition analysis is often applied to frequency modulated data obtained by Dynamic Mechanical Analysis (DMA) and Rheometry in the analytical chemistry and physics area. These techniques provide estimates of material mechanical properties (such as modulus) at temperatures in a wider range of time. This package provides the Time-Temperature Superposition Method curve at a referred temperature using three methods: the traditional Arrhenius based methods and WLF, and the newer methodology based on derivatives procedures. The Master Curve is smoothed by B-splines basis. The package output is composed of plots of experimental data, horizontal and vertical shifts, TTS data, and TTS data fitted using B-splines with bootstrap confidence intervals.

License GPL (>= 2) | LazyData yes | NeedsCompilation no

Repository CRAN

Date/Publication 2015-09-26 09:11:32

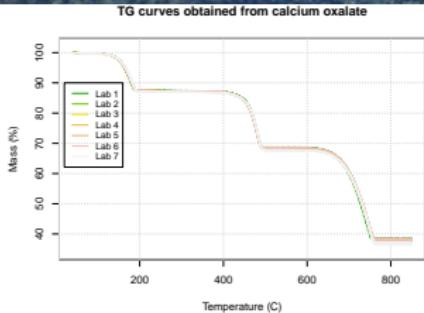
R topics documented:

|             |   |
|-------------|---|
| TTS-package | 2 |
| PLT         | 3 |
| PLOTTTS     | 4 |
| TTS         | 5 |



## Paquetes Quality Control Review (qcr) e Interlaboratory Study (ILS)

- Análisis de capacidad de procesos → paquete qcr.
- Gráficos de control univariantes, multivariantes, paramétricos y no paramétricos → paquete qcr.
- Gráficos de control para datos funcionales → paquete qcr.
- Nuevas extensiones funcionales de los estadísticos  $h$  y  $k$  de Mandel → paquete ils.



Participantes:

Miguel Flores



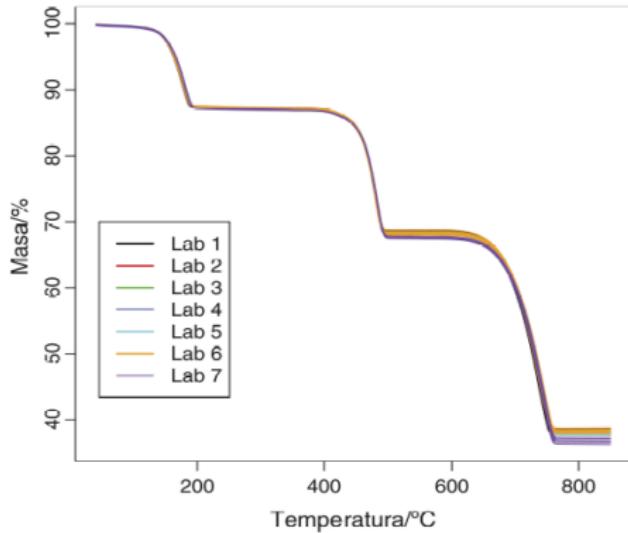
# Datos Interlaboratorio. (ILS)

## Diseño del estudio interlaboratorio

|               |   |
|---------------|---|
| Laboratorio 1 | Analizador STA con una calibración antigua  |
| Laboratorio 2 | Núcleo de                                   |
| Laboratorio 3 | laboratorios que                            |
| Laboratorio 4 | proporcionan datos consistentes             |
| Laboratorio 5 | con un instrumento SDT                      |
| Laboratorio 6 | Analizador SDT con una calibración antigua  |
| Laboratorio 7 | Instrumento con una calibración sesgada 2°C |

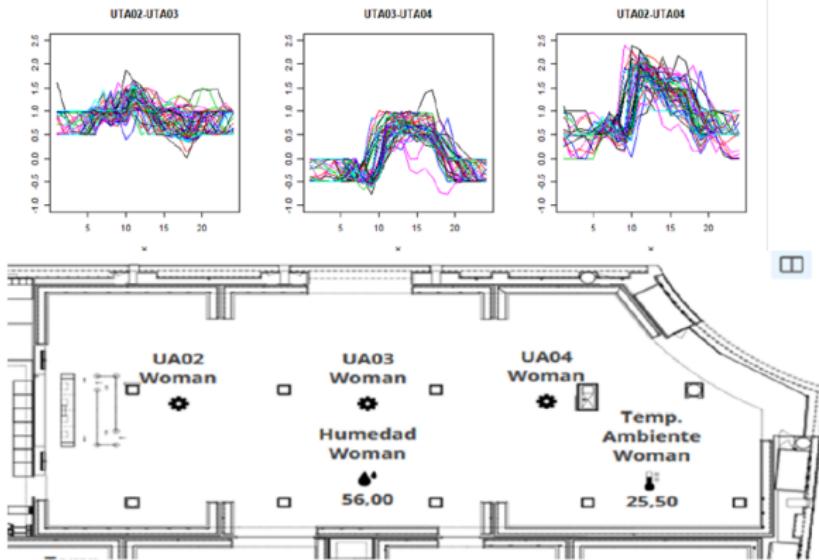
# Ejemplo de datos funcionales para ILS

Resultado: Curvas termogravimétricas

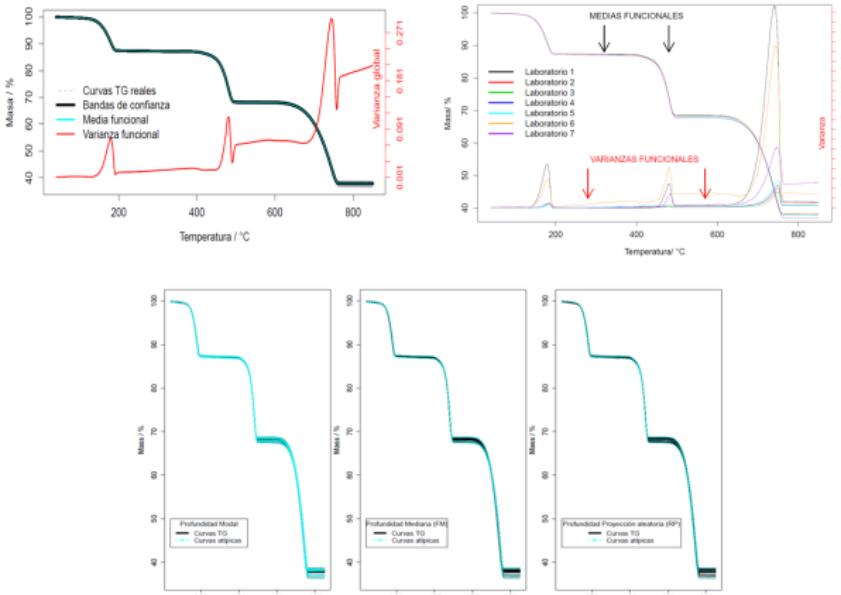


# Ejemplo de datos funcionales para ILS

Consumos energéticos de las tres tiendas.



# Nuevo enfoque FDA para la detección de atípicos en Estudios Interlaboratorio (ILS)



# Nuevo enfoque FDA para la detección de atípicos en Estudios Interlaboratorio (ILS)

Sea  $\{X_1^I(t), \dots, X_n^I(t)\}$  un conjunto de observaciones que se obtienen para  $L$  laboratorios  $I = 1, \dots, L$ . Se seleccionan  $n$  muestras aleatorias en cada laboratorio. Los estadísticos funcionales  $H_I(t)$  y  $K_I(t)$  se calculan para cada laboratorio y son el punto de partida para contrastar las hipótesis nulas para un estudio R & R.

## Hipótesis de reproducibilidad

- $H_0 : \mu_1(t) = \mu_2(t) = \dots = \mu_L(t)$
- $H_I(t) = \frac{X_i^I(t) - \bar{X}(t)}{S_I(t)} ; I = 1, \dots, L$
- $d_I^H = \|H_I(t)\| = \left( \int_a^b H_I(t)^2 dt \right)^{\frac{1}{2}}$

# Nuevo enfoque FDA para la detección de atípicos en Estudios Interlaboratorio (ILS)

## Hipótesis de repetibilidad

- $H_0 : \sigma_1^2(t) = \sigma_2^2(t) = \dots = \sigma_L^2(t)$
- $K_l(t) = \frac{S_l(t)}{\sqrt{\bar{S}^2(t)}}; l = 1, \dots, L$
- $d_l^K = \|K_l(t)\|$

# Resultados: Interlaboratory Study (ILS) - FDA

## Estudios entre laboratorios: univariante

- Análisis de la varianza
- Prueba de Tukey para comparar medias entre laboratorios
- Pruebas de Grubbs y Cochram para detectar outlier
- Estadísticos h y k de Mandel

## Estudios Interlaboratorio: Funcional

- Análisis exploratorio
- Estadísticos H(t) y K(t)
- Gráficos de control funcional
- Estadísticos h y k de Mandel

## Package 'ILS'

May 23, 2016

Type Package

Title Interlaboratory Study

Version 0.1.0

Date 2016-05-22

Depends R (>= 3.1.0), multcomp, depthTools, fda.usc, MASS

Description It performs interlaboratory studies (ILS) to detect those laboratories that provide non-consistent results when comparing to others.

It permits to work simultaneously with various testing materials, from standard univariate, and functional data analysis (FDA) perspectives.

The univariate approach based on ASTM E691-

08 consist of estimating the Mandel's h and k statistics to identify those laboratories that provide more significant different results, testing also the presence of outliers by Cochran and Grubbs tests, Analysis of variance (ANOVA) techniques are provided (F and Tukey tests) to test differences in means corresponding to different laboratories per each material.

Taking into account the functional nature of data retrieved in analytical chemistry, applied physics and engineering (spectra, thermograms, etc.).

ILS package provides a FDA approach for finding the Mandel's k and h statistics distribution by smoothing bootstrap resampling.

License GPL (>= 2)

LazyData yes

Author Miguel Flores [aut, cre],

Salvador Naya [ctb],

Javier Tarrio-Saavedra [ctb],

Ruben Fernandez [ctb],

Rubi Arias [ctb]

Maintainer Miguel Flores <ma.florres@outlook.com>

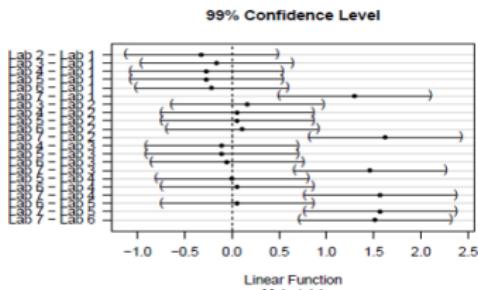
Repository CRAN

RoxigenNote 5.0.1

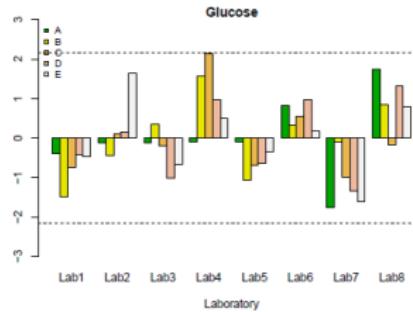
NeedsCompilation no

## Salidas del paquete ILS

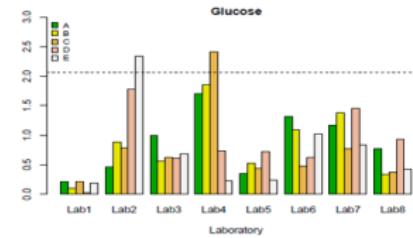
### Prueba de Tukey



### Estadístico H



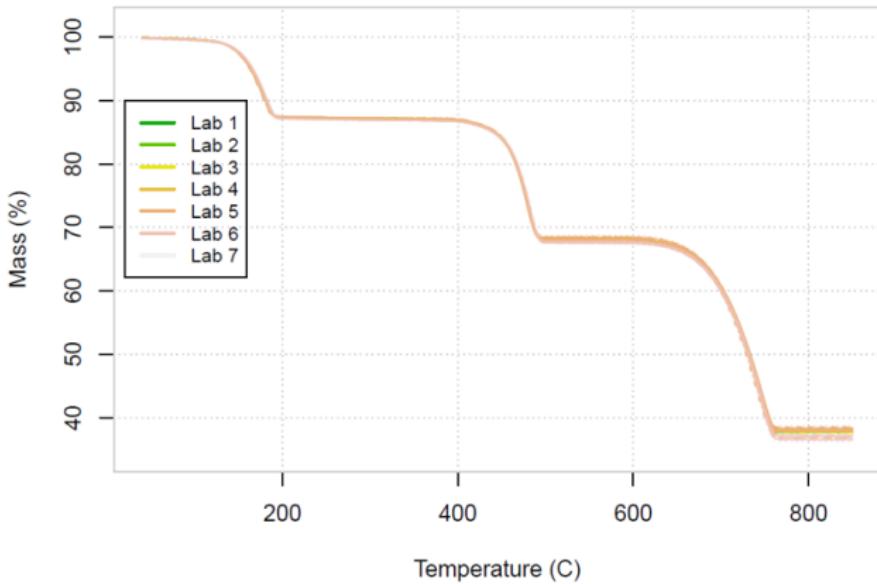
### Estadístico K

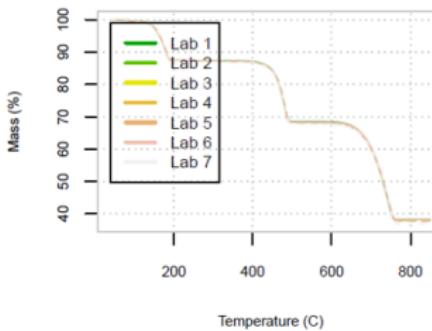
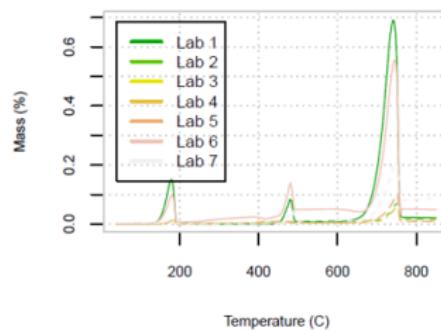
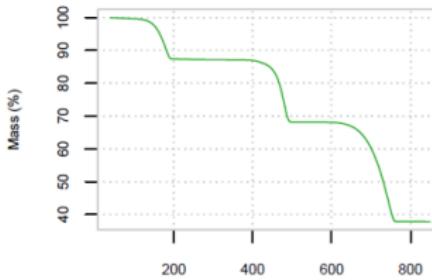
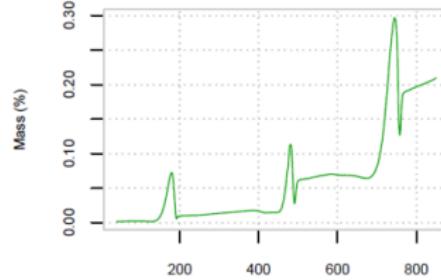


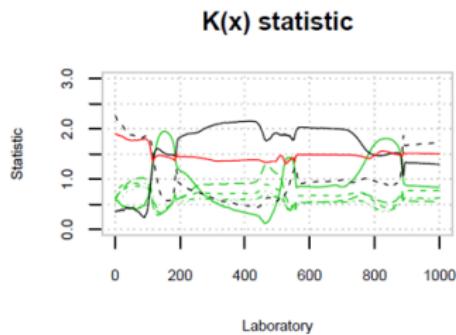
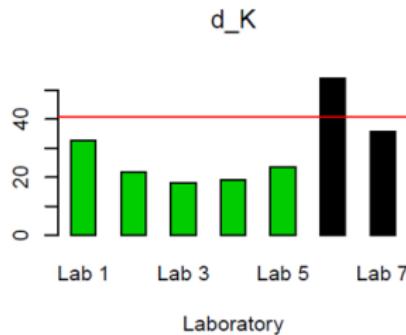
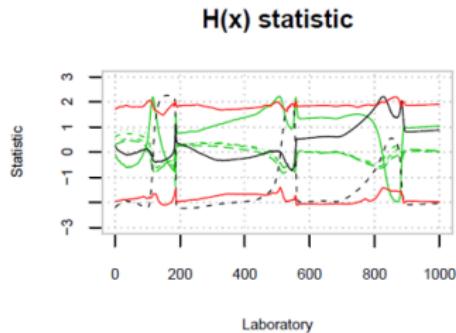
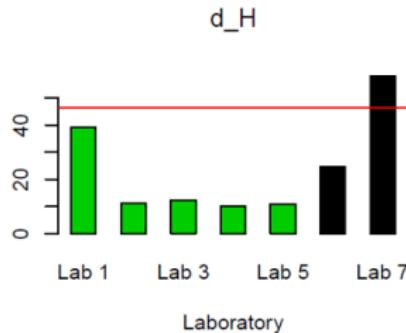
## Salidas del ILS para FDA

### Estadística Descriptiva Funcional

TG curves obtained from calcium oxalate



**Functional Mean by Laboratory****Functional Variance by Laboratory****Global Functional Mean****Global Functional Variance**



# Propuesta de una metodología de gráficos de control basada en datos funcionales

$$H_0 : \mu = \mu_0 \quad versus \quad H_\alpha : \mu \neq \mu_0$$

$$UCL = \mu_w + L\sigma_w$$

$$CL = \mu_w$$

$$LCL = \mu_w - L\sigma_w$$

## Fase I: Estabilización (Proceso bajo control)

Sea  $X$  una variable aleatoria funcional que toma valores en un espacio funcional  $\mathcal{E} = L^2(T)$ ,  $T \subset \mathbf{R}$ .

$$\{\mathcal{X}_1(t), \mathcal{X}_2(t), \dots, \mathcal{X}_n(t)\}$$

$$\begin{aligned} H_0 : \quad & \mathcal{X}_i(t) \stackrel{d}{=} \mathcal{X}_j(t), \forall i, j \in \{1, \dots, n\} \\ H_a : \quad & \mathcal{X}_i(t) \stackrel{d}{\neq} \mathcal{X}_j(t), \forall i, j \in \{1, \dots, n\} \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} H_0 : \quad & \mathcal{X}_i(t) \stackrel{d}{=} \mathcal{X}_j(t) \quad \forall i, j \in \{1, \dots, n\} \\ H_a : \quad & \begin{cases} \mathcal{X}_i(t) \stackrel{d}{=} \mathcal{X}_j(t) & \forall i, j \in \{1, \dots, \tau\} \\ \mathcal{X}_i(t) \stackrel{d}{\neq} \mathcal{X}_j(t) & \forall i, j \in \{\tau + 1, \tau + 2, \dots, n\} \end{cases} \end{aligned} \tag{2}$$

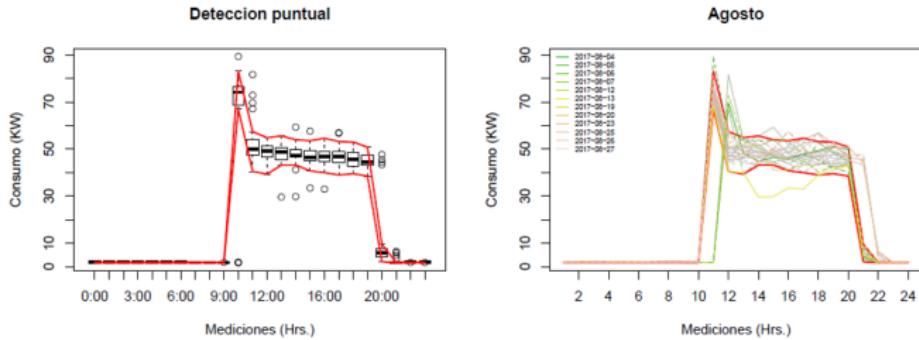
## Fase II: Monitorización

Sea  $X$  una variable aleatoria funcional que toma valores en un espacio funcional  $\mathcal{E} = L^2(T)$ ,  $T \subset \mathbf{R}$ .

$\{\mathcal{X}_1(t), \mathcal{X}_2(t), \dots, \mathcal{X}_n(t)\}$ , y  $\{\mathcal{X}_{n+1}(t), \mathcal{X}_{n+2}(t), \dots, \mathcal{X}_m(t)\}$

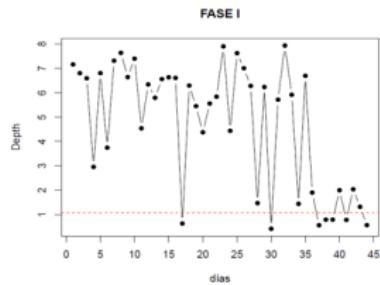
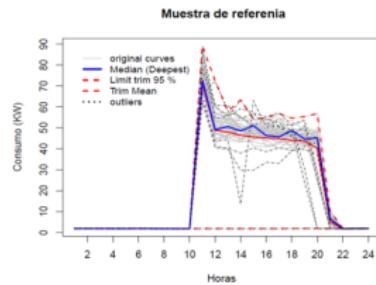
$$H_0 : F = G$$

$$H_0 : F \neq G$$

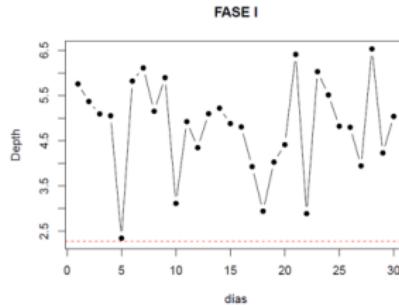
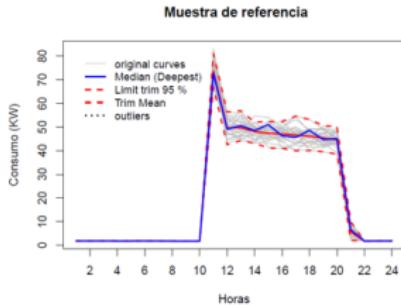


Detección de consumos energéticos en HVAC atípicos mediante la aplicación de boxplot a cada uno de los consumos horarios.

## Fuera de control



## Estabilizado



# Resultados: Quality Control Review (qcr) - Enfoque No paramétrica

## Gráficos de control de calidad

- Paramétricos (xbar, one, R, S, c, np, p, g, CUSUM, EWMA, MCUSUM, MEWMA , T2 )
- No paramétricos (r, Q, S)

## Índices de Capacidad

- Paramétricos (Cp, Cpk,Cpm, Cpmk)
  - Normal
  - Weibull, Exponencial, etc.
- No paramétricos (CNp, CNpk,CNpm, CNpmk)

## Package ‘qcr’

June 1, 2016

Type Package

Title Quality Control Review

Version 1.0

Date 2016-06-01

Author Miguel Flores, Salvador Naya, Ruben Fernandez and Javier Tarrio

Maintainer Miguel Flores <ma.flores@outlook.com>

Depends R (>= 2.10), qcc, fda.usc, mvtnorm, qualityTools, MASS

Description Allows to generate Shewhart-type charts and to obtain numerical results of interest to the quality control of a process (involving continuous, attribute or count data).

This package provides basic functionality for univariable and multivariable quality control analysis, including: xbar, xbar-one, S, R, ewna, cusum, mewna, mcusum and T2 charts. Additionally have nonparametric control charts multivariate. Parametric and nonparametric Process Capability Indices.

License GPL (>= 2)

LazyData yes

RoxygenNote 5.0.1

NeedsCompilation no

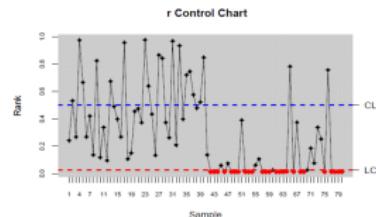
# Gráficos de control de calidad no paramétricos

## Procedimiento: Gráfico r

1. Seleccionar una muestra de tramoño  $m$  de  $Y \sim G$ .
2. Calcular las profundidades asociadas a cada punto del conjunto de datos  $D(y_1), \dots, D(y_m)$ .
3. Calcular los estadístico Rank:  $r_{G_m}(y_1), \dots, r_{G_m}(y_m)$ .
4. Graficar los estadísticos Rank y los límites inferior ( $LCL = \alpha$ ) y Central( $LC = 0.5$ ).
5. Monitorear el proceso. Si un estadístico Rank esta por debajo del  $LCL$ , se declara al proceso fuera de control

Paquete fda.usc: Funciones que proveen las medidas de profundidades: mdepth.SD, mdepth.MhD, mdepth.RP, mdepth.LD, mdepth.TD

- Liu R. (1995). Control Charts for Multivariate Processes. American Statistical Association. Vol90(432):1380-138.
- Febrero-Bande, M. and Oviedo, M. (2012). "Statistical computing in functional data analysis: the R package



```
set.seed(356); mu <- c(0, 0)
Sigma <- matrix(c(1, 0, 0, 1), nrow = 2, ncol = 2)
u <- -c(2, 2)
S <- matrix(c(4, 0, 0, 4), nrow = 2, ncol = 2)
G <- rmvnorm(540, mean = mu, sigma = Sigma)
x <- rmvnorm(40, mean = u, sigma = S)
x <- rbind(G[501 : 540, ], x)
M <- G[1 : 500, ]
data.npqcd <- npqcd(x, M)
res.npqcs <- npqcs.r(data.npqcd, method =
"Liu", alpha = 0,025)
summary(res.npqcs)
plot(res.npqcs, title = "rControlChart")
```

# Índices de capacidad del proceso (paramétrico y no paramétrico)

- Generalización de los índices de capacidad para la distribución normal por Kerstin Vannman (1995).

$$C_p(u, v) = \frac{d - u|\mu - m|}{3\sqrt{\sigma^2 + v(\mu - T)^2}}$$

- Generalización de los índices de capacidad para distribuciones arbitrarias por Pearn y Chen (1997) y Tong y Chen (1998).

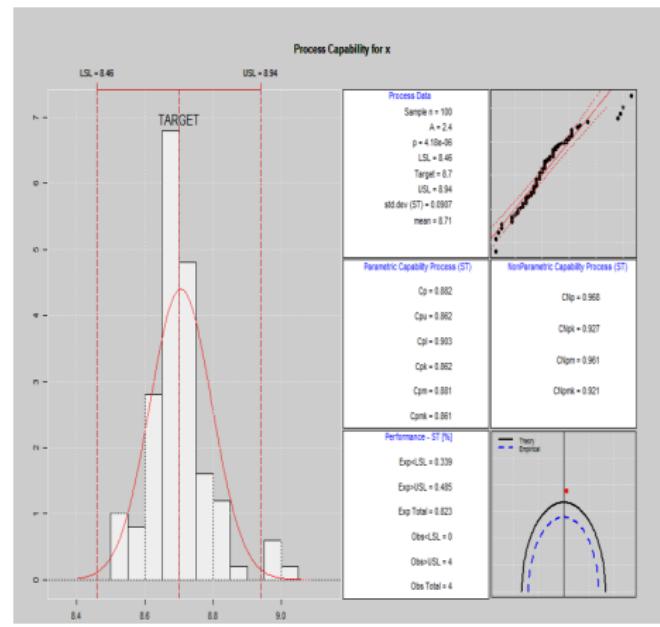
$$C_{Np}(u, v) = \frac{d - u|M - m|}{3\sqrt{\left(\frac{F_{99,865} - F_{0,135}}{6}\right)^2 + v(M - T)^2}}$$

- Prueba de hipótesis y gráficos de capacidad del proceso por Kerstin Vannman (2001).

$$H_0 : C_{pm} \leq k_0$$

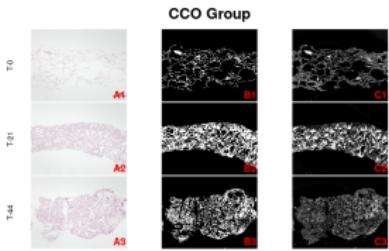
$$H_1 : C_{pm} > k_0$$

El proceso se considerará capaz si  $\hat{C}_{pm} > c_\alpha$



## Modelización de la degradación de biomateriales para regeneración ósea

- Estimar la degradación de scaffolds basados en el ácido poliláctico (PDLGA) para su aplicación en odontología.
- Estimar el grado de degradación del colágeno para regeneración ósea y la influencia de la actividad y crecimiento celular (osteocitos) a partir de células madre (degradación por actividad celular).
- Usando técnicas basadas en
  - análisis de imagen,
  - “machine learning”,
  - y “statistical learning”.

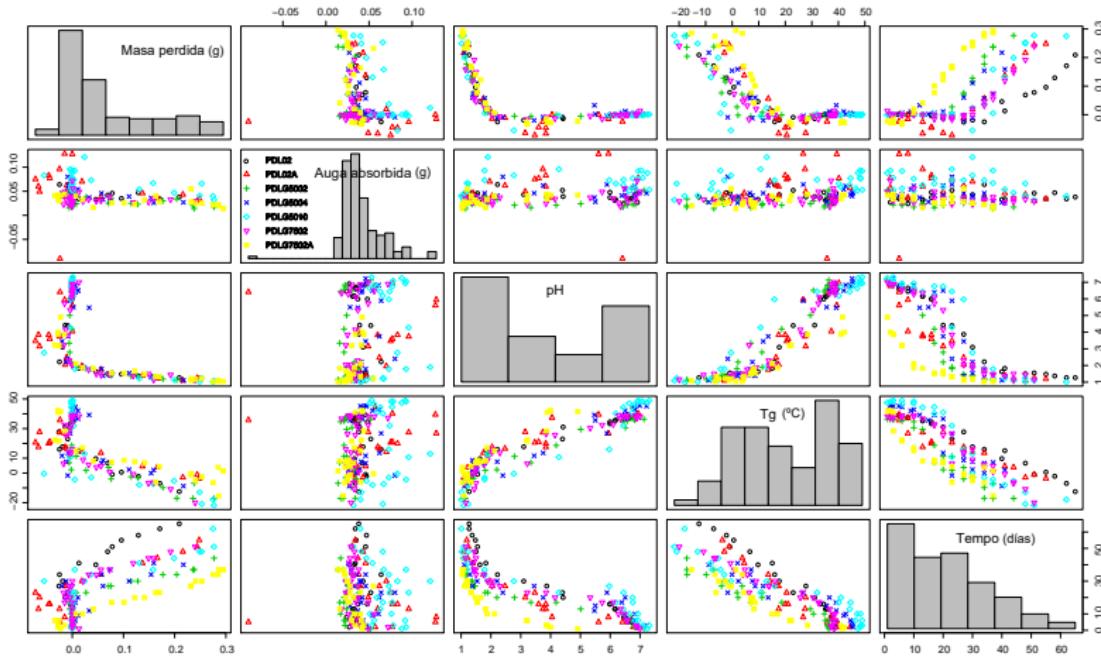


### Participantes:

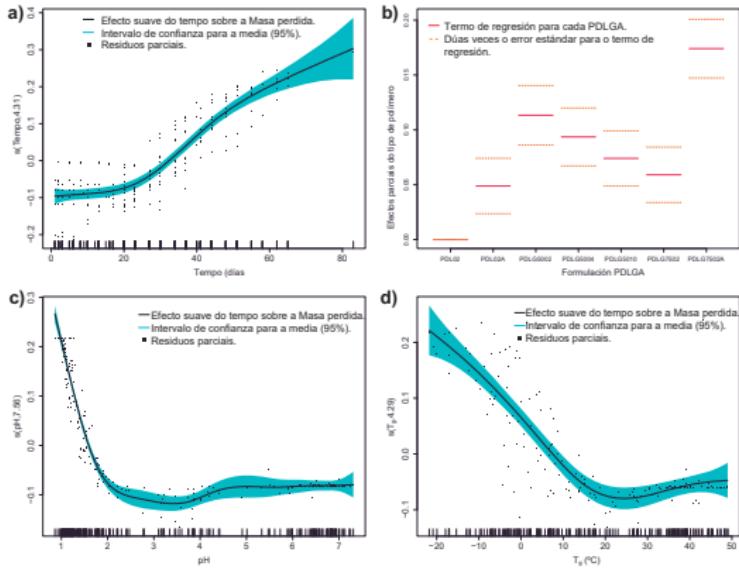
Yaroslava Robles



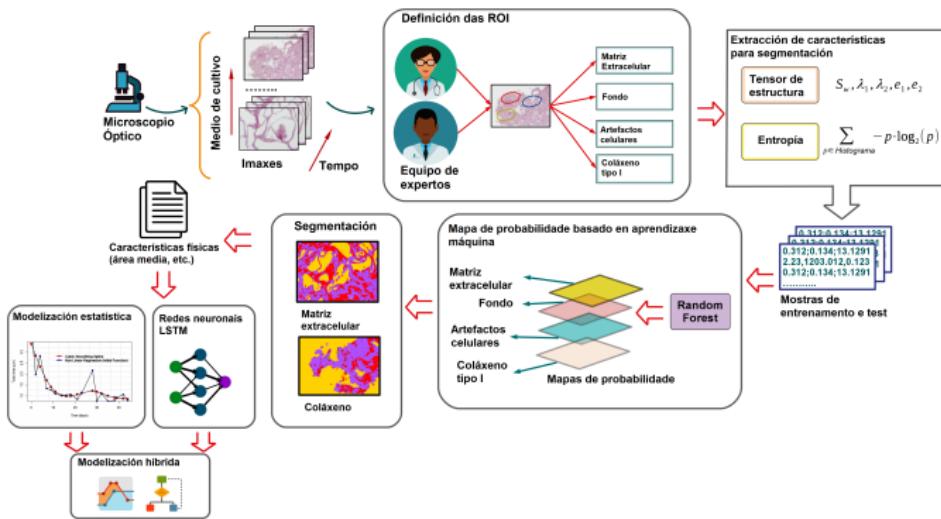
# Estudio descriptivo de las variables de interés



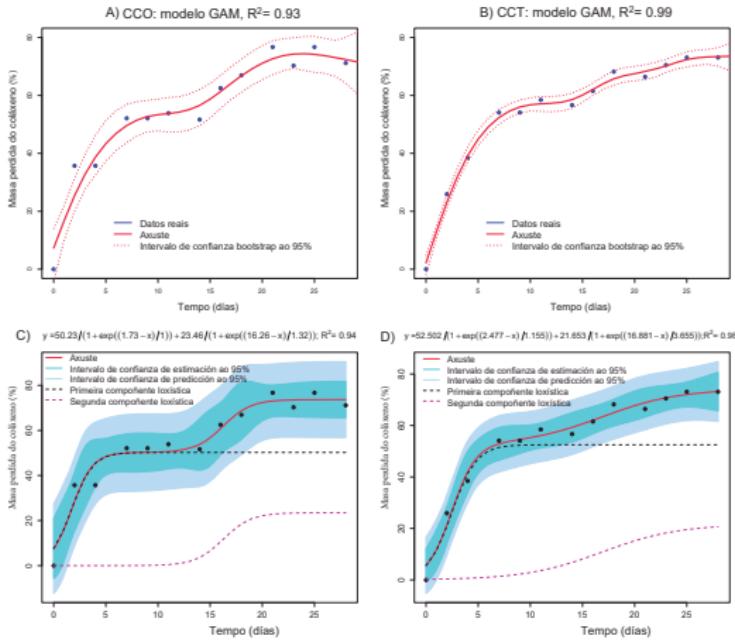
# Estudio del colágeno mediante segmentación de imágenes. Modelos GAM



# Diagrama para estudio de imágenes



# Modelo de mezcla de logísticas



# Conclusiones

- Introducción por primera vez en R de las técnicas para fatiga.
- Introducción por primera vez en R de la curva maestra para tiempos de vida.
- Introducción por primera vez en R de las técnicas estadísticas utilizadas para estudios interlaboratorio.
- Desarrollo de nuevas metodologías para los estudios interlaboratorio. Paquete ILS.
- Nuevo paquete que integra los existentes de control de calidad con nuevas aportaciones funcionales.
- Propuesta de nuevos modelos para analizar la degradación de biomateriales.

# Referencias · Antonio Meneses

-  Naya S, Meneses A, Tarrío-Saavedra J, Artiaga R, López-Beceiro J, Gracia-Fernández, C (2013). New method for estimating shift factors in time-temperature superposition models. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 113(2), 453–460.
-  Meneses A, Naya S, Tarrío-Saavedra J. (2015). TTS: Master Curve Estimates Corresponding to Time-Temperature Superposition. R package version 1.0. <http://CRAN.R-project.org/package=TTs>.
-  Meneses A, Naya S, Tarrio-Saavedra J, Lopez-Ullibarri I (2015). Package FCGR: Fatigue Crack Growth in Reliability. <http://CRAN.R-project.org/package=FCGR>.
-  Meneses, A., Naya, S., López-de-Ullibarri, I., Tarrío-Saavedra, J. (2016). Nonparametric method for estimating the distribution of time to failure of engineering materials. In *Nonparametric Statistics* (pp. 211-224). Springer, Cham.
-  Meneses Freire, A. (2017). Nuevas aportaciones estadísticas al estudio de la fiabilidad de materiales. Tesis doctoral. Universidade da Coruña.

# Referencias · Miguel Flores

-  Naya, S., Tarrío-Saavedra, J., López-Beceiro, J., Francisco-Fernández-Casal, M., Flores, M., Artiaga, R. (2014). Statistical functional approach for interlaboratory studies with thermal data. *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 118 (2), 1229-1243.
-  Flores, M., Naya, S., Fernández-Casal, R., Tarrío-Saavedra, J. (2016). qcr: Quality Control Review, R package version 1.0. <http://CRAN.R-project.org/package=qcr>.
-  Flores, M., Naya, S., Tarrío-Saavedra, J., Fernández-Casal, R. (2017). Functional data analysis approach of Mandel's h and k statistics in Interlaboratory Studies. In *Functional Statistics and Related Fields* (pp. 123-130). Springer.
-  Flores, M., Tarrío-Saavedra, J., Fernández-Casal, R., Naya, S. (2018). Functional extensions of Mandel's h and k statistics for outlier detection in interlaboratory studies. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 176, 134-148.
-  Flores, M., Fernández-Casal, R., Naya, S., Tarrío-Saavedra, J., Bossano, R. (2018). ILS: An R package for statistical analysis in Interlaboratory Studies. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 181, 11-20.
-  Flores Sánchez, M.A. (2019). Flores Sánchez, M. (2019). Nuevas aportaciones del análisis de datos funcionales en el control estadístico de procesos. Tesis doctoral. Universidade da Coruña.

# Referencias · Yaroslava Robles-Bykbaev

-  Robles-Bykbaev, Y., Tarrío-Saavedra, J., Quintana, S., Díaz-Prado, S., García-Sabán, F.J., Naya, S. (2018). Statistical degradation modelling of Poly(D,L-lactide-co-glycolide) copolymers for bioscaffold applications. *Plos One*, 13(10), e0204004.
-  Robles-Bykbaev, Y., Naya, S., Prado, S. D., Calle-López, D., Robles-Bykbaev, V., Garzón-Muñoz, L., Tarrío-Saavedra, J. (2018). An Expert System Based on Computer Vision and Statistical Modelling to Support the Analysis of Collagen Degradation. In *Intelligent System*. IntechOpen.
-  Robles-Bykbaev, Y., Robles-Bykbaev, V, Díaz, S., Naya, S., Garzón, L., Calle, D., Sanjurjo, C., Tarrío-Saavedra, J. (2019). Artificial vision and statistical learning based method to study the biodegradation of type I collagen scaffolds in bone regeneration systems. *PeerJ*.
-  Robles-Bykbaev, Y. (2019) Modeling and Analysis of the Degradation of Smart Biomaterials for Dental Use, and the Development and Differentiation of Bone Cells from the Culture of Mesenchymal Cells Inoculated in Dental Scaffolds. Tesis doctoral. Universidade da Coruña.