

Control estadístico de la calidad mediante las librerías qcr, ILS y fda.qc

Salvador Naya · Javier Tarrío · Miguel Flores

Grupo MODES, Departamento de Matemáticas, Universidade da Coruña
Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

III XORNADA DE USUARIOS R EN GALICIA

Facultade de Matemáticas (USC)
20 de outubro, 2016

III Xornada de R en Galicia. 2016

III XORNADA DE USUARIOS DE EN GALICIA R

20 DE OUTUBRO DE 2016
SANTIAGO DE COMPOSTELA
www.r-users.gal

> LUGAR
Facultade de Matemáticas



```
plot(...)  
boxplot.default(x, ..., range = 1.5, width = NULL,  
    varwidth = FALSE, notch = FALSE, names, boxwex = 0.8,  
    data = parent.frame(), plot = TRUE,  
    border = par("fg"), col = NULL, log = "", pars = NULL,  
    horizontal = FALSE, add = FALSE)  
pro.formula(formula, data = NULL, subset, na.action, ...)
```

> ORGANIZA
 CIXUG
Comunidade de Usuários de R

> COLABORA
 USC
Universidade de Santiago de Compostela

> PATROCINAN
 omtega
XUNTA
DE GALICIA

Contenidos

Objetivos

Participantes

Razones para elegir R

Paquetes de R para CEC

Paquete qcr

Estudios interlaboratorio y CEC con la librería ILS

Gráficos de control para perfiles con fda.qc

Conclusiones

Objetivos

Participantes

Razones para elegir R

Paquetes de R para CEC

Paquete qcr

Estudios interlaboratorio y CEC con la librería ILS

Gráficos de control para perfiles con fda.qc

Conclusiones

Objetivos

1. **Paquete qcr:** proporciona herramientas paramétricas y no paramétricas de gráficos de control y análisis de capacidad de procesos y servicios.
2. **Paquete ILS:** Nuevos procedimientos y metodologías tradicionales para desarrollar *estudios interlaboratorio, ILS*.
3. **Paquete fda.qc:** Gráficos de control para datos funcionales o perfiles (en elaboración).

Objetivos

Participantes

Razones para elegir R

Paquetes de R para CEC

Paquete qcr

Estudios interlaboratorio y CEC con la librería ILS

Gráficos de control para perfiles con fda.qc

Conclusiones

Participantes: C. de Materiales · Ingeniería · Estadística

- ▶ Desarrollar y aplicar herramientas estadísticas para aplicaciones en ingeniería y caracterización de materiales.
- ▶ Regresión paramétrica no lineal, estadística no paramétrica, FDA, fiabilidad, estudios de degradación, diseño de experimentos.

Modelización estadística

Análisis térmico-mecánico

Empresas



Objetivos

Participantes

Razones para elegir R

Paquetes de R para CEC

Paquete qcr

Estudios interlaboratorio y CEC con la librería ILS

Gráficos de control para perfiles con fda.qc

Conclusiones

Razones para elegir el R para CEC

1. R es un lenguaje y entorno de programación libre lo que permite que los usuarios lo extiendan definiendo sus propias funciones (disponible además en Linux, Mac OS, Windows)
2. La comunidad científica internacional ha elegido R como la "lingua franca" del análisis de datos.
3. La capacidad de combinar análisis "pre-empaquetados" con análisis ad-hoc, específicos para una situación determinada.
4. Posibilidad de crear gráficos de alta calidad.
5. La comunidad de R es muy dinámica e integrada por estadísticos de gran renombre.
6. Extensiones específicas a áreas nuevas: Ingenierías, Informática, Control de Calidad, Big Data, ...

Objetivos

Participantes

Razones para elegir R

Paquetes de R para CEC

Paquete qcr

Estudios interlaboratorio y CEC con la librería ILS

Gráficos de control para perfiles con fda.qc

Conclusiones

Control Estadístico de la Calidad

Dependiendo del tipo de datos y motivaciones, la estadística se puede dividir en diferentes campos.



► Control estadístico de la calidad (CEC)

- ▶ Parte de la estadística que engloba aquellas herramientas necesarias para el control y aseguramiento de la calidad de productos y servicios.
 - ▶ Estadística descriptiva e inferencia. Diagramas de Ishikawa y Pareto. Gráficos de control y capacidad de procesos. Diseño de experimentos, análisis de la varianza y fiabilidad.
 - ▶ Seis Sigma: metodología de mejora de procesos que busca reducir la variación, número de defectos y errores en general.

► Metodología Seis Sigma:



Paquetes para CEC con R

Paquete qcc

Permitirá:

- ▶ Dibujar los gráficos de control de calidad de Shewhart para datos continuos, atributos e indicadores.
- ▶ Dibujar los gráficos Cusum y EWMA para datos continuos.
- ▶ Pintar las curvas características operativas (curvas OC).
- ▶ Analizar la capacidad de procesos.
- ▶ Dibujar los gráficos de Pareto y los diagramas de causa-efecto.

El autor de dicho paquete es **Luca Scrucia**.

Paquetes para CEC con R

Paquete **qualityTools**

Incorpora funciones y ejemplos de la aplicación de la metodología Seis Sigma a un determinado proceso en cada una de sus cinco etapas: Definición, Medida, Análisis, Mejora y Control (DMAIC).
El autor de dicho paquete es **Thomas Roth**.

Paquete **IQCC**

Construye gráficos de control estadístico con límites exactos para los casos univariante y multivariante.

Sus autores son **Daniela R. Recchia, Emanuel P. Barbosa, Elias de Jesus Goncalves**.

Paquetes para CEC con R

Paquete **qualityTools**

Incorpora funciones y ejemplos de la aplicación de la metodología Seis Sigma a un determinado proceso en cada una de sus cinco etapas: Definición, Medida, Análisis, Mejora y Control (DMAIC).
El autor de dicho paquete es **Thomas Roth**.

Paquete **IQCC**

Construye gráficos de control estadístico con límites exactos para los casos univariante y multivariante.

Sus autores son **Daniela R. Recchia, Emanuel P. Barbosa, Elias de Jesus Goncalves**.

Objetivos

Participantes

Razones para elegir R

Paquetes de R para CEC

Paquete qcr

Estudios interlaboratorio y CEC con la librería ILS

Gráficos de control para perfiles con fda.qc

Conclusiones

Paquete qcr (Quality Control Review)

Paquete qcr. Primera versión 2013

Package ‘qcr’

July 13, 2013

Type Package

Title Quality control and reliability

Version 0.1-15

Date 2013-07-13

Author Miguel Flores <mflores@outlook.com>, Salvador Naya <salva@udc.es>, Ruben Fernandez <rben,fcasal@udc.es>

Maintainer Miguel Flores <mflores@outlook.com>

Depends R (>= 3.0.0), qcc, MSQC

Suggests IQCC

Description Shewhart quality control charts for continuous, attribute and count data. Cusum and EWMA charts. Multivariate control charts.

License GPL (>= 2)

LazyData yes

Paquete qcr (Quality Control Review)

Paquete qcr. Primera versión 2013

Package ‘qcr’

July 13, 2013

Type Package

Title Quality control and reliability

Version 0.1-15

Date 2013-07-13

Author Miguel Flores <mflores@outlook.com>, Salvador Naya <salva@udc.es>, Ruben Fernandez <rben_fcasa@udc.es>

Maintainer Miguel Flores <mflores@outlook.com>

Depends R (>= 3.0.0), qcc, MSQC

Suggests IQCC

Description Shewhart quality control charts for continuous, attribute and count data. Cusum and EWMA charts. Multivariate control charts.

License GPL. (>= 2)

LazyData yes

Paquete qcr. Segunda versión 2016

Package ‘qcr’

July 20, 2016

Type Package

Title Quality Control Review

Version 1.0

Date 2016-07-19

Depends R (>= 2.10), qcc, fda.usc, mvtnorm, qualityTools, MASS
Description Allows to generate Shewhart-type charts and to obtain numerical results of interest for a process quality control (involving continuous, attribute or count data).

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

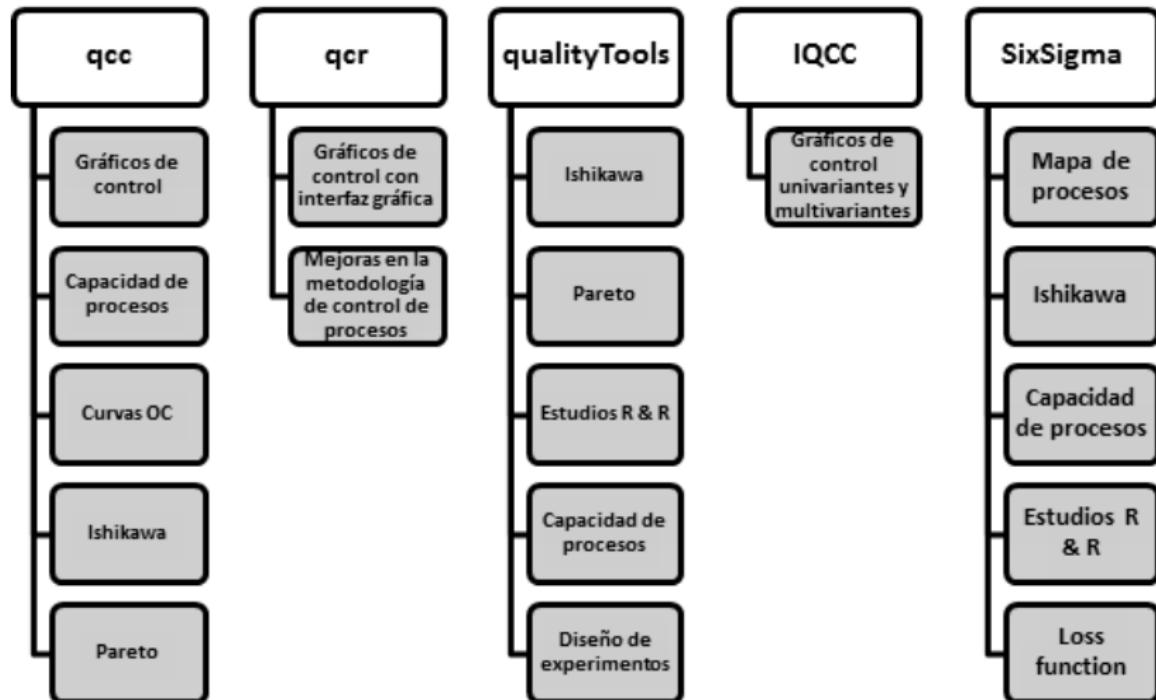
License GPL. (>= 2)

LazyData yes

Author Miguel Flores [aut, cre],
Ruben Fernandez [ctb],
Salvador Naya [ctb],
Javier Tarrio-Saavedra [ctb]

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

Paquetes de R para CEC



Bases de datos de R para CEC

Base de datos **oxidation** (paquete qcr)

Recoge los el nivel de pureza de 50 muestras de aceite de variedad Picual.
Se mide la OOT que está relacionada con la oxidación del aceite.

Base de datos **dowell** (paquete qcr)

Recoge los defectos de 40 muestras de diámetro y longitud de unos pins.

Base de datos **counters** (paquete qcr)

Recoge el número de 60 contadores de la empresa de aguas de A Coruña con 3 medidas de error para dos marcas diferentes (180 datos) en función del calibre y la presión.

Bases de datos de R para CEC

Base de datos **oxidation** (paquete qcr)

Recoge los el nivel de pureza de 50 muestras de aceite de variedad Picual. Se mide la OOT que está relacionada con la oxidación del aceite.

Base de datos **dowell** (paquete qcr)

Recoge los defectos de 40 muestras de diámetro y longitud de unos pins.

Base de datos **counters** (paquete qcr)

Recoge el número de 60 contadores de la empresa de aguas de A Coruña con 3 medidas de error para dos marcas diferentes (180 datos) en función del calibre y la presión.

Bases de datos de R para CEC

Base de datos **oxidation** (paquete qcr)

Recoge los el nivel de pureza de 50 muestras de aceite de variedad Picual. Se mide la OOT que está relacionada con la oxidación del aceite.

Base de datos **dowell** (paquete qcr)

Recoge los defectos de 40 muestras de diámetro y longitud de unos pins.

Base de datos **counters** (paquete qcr)

Recoge el número de 60 contadores de la empresa de aguas de A Coruña con 3 medidas de error para dos marcas diferentes (180 datos) en función del calibre y la presión.

Bases de datos de R para CEC

Base de datos **pistonrings** (paquete qcc y qcr)

Recoge el diámetro de los anillos de los pistones de un motor de un automóvil durante el proceso de forjado. Se mide en 25 muestras, cada una de tamaño 5, de un proceso considerado bajo control, luego se añaden otras 15 muestras.

Base de datos **binomdata** (paquete IQCC y qcr)

Recoge datos binomiales que se utilizarán para los gráficos P.

Base de datos **moonroof** (paquete IQCC y qcr)

Recoge datos que se utilizarán para construir los gráficos U.

Base de datos **presion** (paquete qcr)

Recoge los datos de medidas de presión de muestras de un material compuesto usado en la construcción de embarcaciones deportivas. Son en total 180 muestras.

Bases de datos de R para CEC

Base de datos **pistonrings** (paquete qcc y qcr)

Recoge el diámetro de los anillos de los pistones de un motor de un automóvil durante el proceso de forjado. Se mide en 25 muestras, cada una de tamaño 5, de un proceso considerado bajo control, luego se añaden otras 15 muestras.

Base de datos **binomdata** (paquete IQCC y qcr)

Recoge datos binomiales que se utilizarán para los gráficos P.

Base de datos **moonroof** (paquete IQCC y qcr)

Recoge datos que se utilizarán para construir los gráficos U.

Base de datos **presion** (paquete qcr)

Recoge los datos de medidas de presión de muestras de un material compuesto usado en la construcción de embarcaciones deportivas. Son en total 180 muestras.

Bases de datos de R para CEC

Base de datos **pistonrings** (paquete qcc y qcr)

Recoge el diámetro de los anillos de los pistones de un motor de un automóvil durante el proceso de forjado. Se mide en 25 muestras, cada una de tamaño 5, de un proceso considerado bajo control, luego se añaden otras 15 muestras.

Base de datos **binomdata** (paquete IQCC y qcr)

Recoge datos binomiales que se utilizarán para los gráficos P.

Base de datos **moonroof** (paquete IQCC y qcr)

Recoge datos que se utilizarán para construir los gráficos U.

Base de datos **presion** (paquete qcr)

Recoge los datos de medidas de presión de muestras de un material compuesto usado en la construcción de embarcaciones deportivas. Son en total 180 muestras.

Bases de datos de R para CEC

Base de datos **pistonrings** (paquete qcc y qcr)

Recoge el diámetro de los anillos de los pistones de un motor de un automóvil durante el proceso de forjado. Se mide en 25 muestras, cada una de tamaño 5, de un proceso considerado bajo control, luego se añaden otras 15 muestras.

Base de datos **binomdata** (paquete IQCC y qcr)

Recoge datos binomiales que se utilizarán para los gráficos P.

Base de datos **moonroof** (paquete IQCC y qcr)

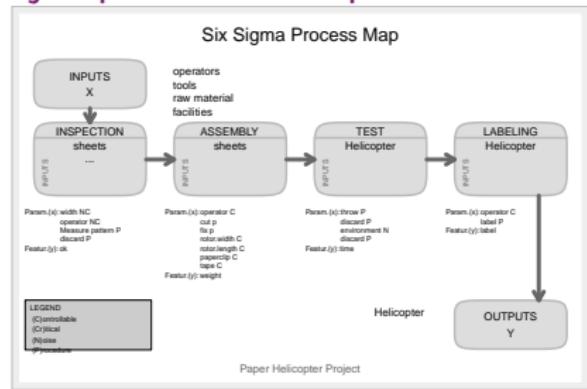
Recoge datos que se utilizarán para construir los gráficos U.

Base de datos **presión** (paquete qcr)

Recoge los datos de medidas de presión de muestras de un material compuesto usado en la construcción de embarcaciones deportivas. Son en total 180 muestras.

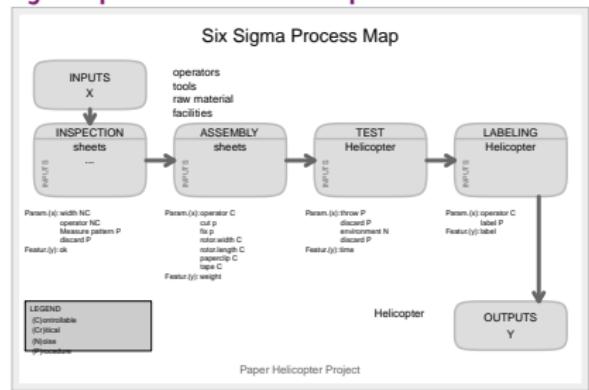
Mapas de procesos y diagrama de Pareto (Etapa Definir)

Mapa de procesos para el ejemplo del Helicóptero

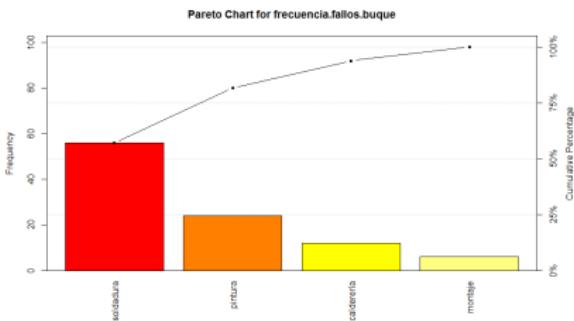


Mapas de procesos y diagrama de Pareto (Etapa Definir)

Mapa de procesos para el ejemplo del Helicóptero

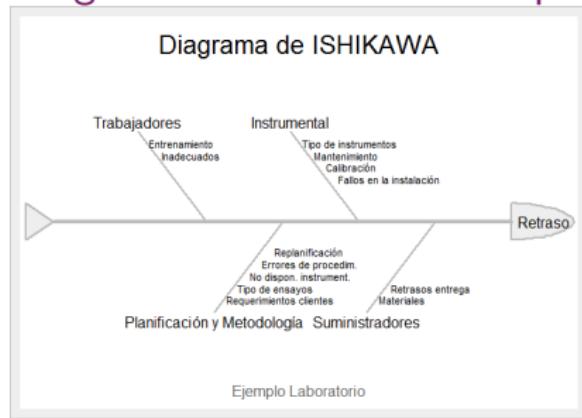


Pareto para fallos en construcción de buques



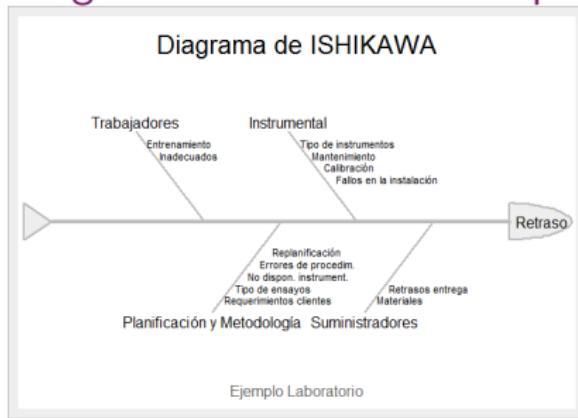
Diagramas de Ishikawa (etapa Definir)

Diagramas de Ishikawa con qcc

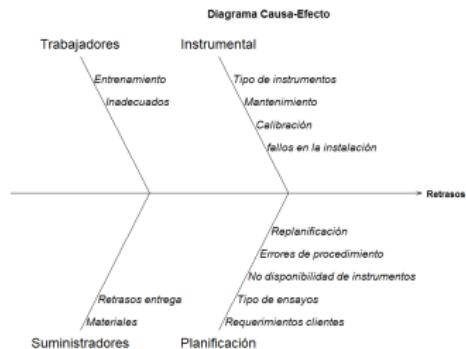


Diagramas de Ishikawa (etapa Definir)

Diagramas de Ishikawa con qcc

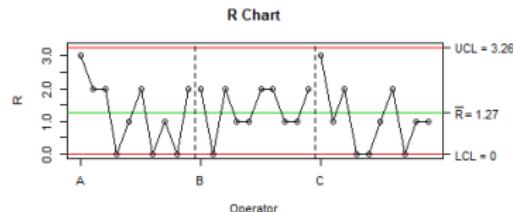
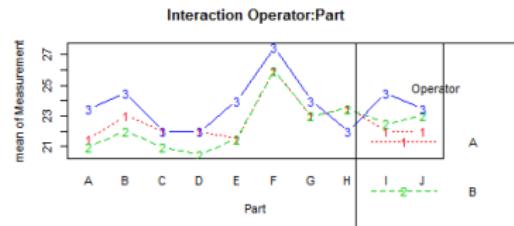
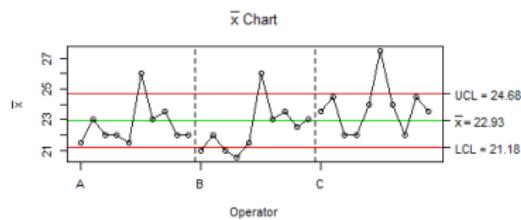
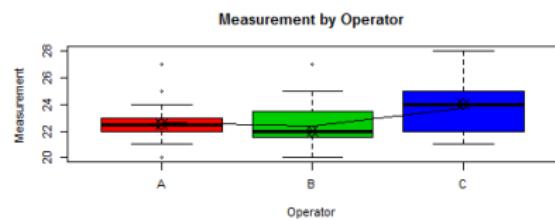
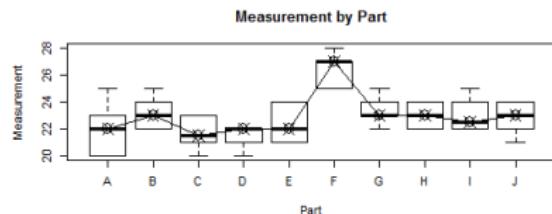
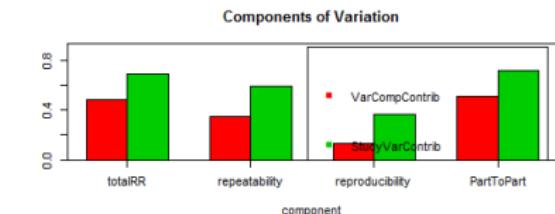


Ishikawa con SixSigma



Graficos RyR con qualityTools (etapa Medir)

Ejemplo de qualityTools



Gráficos de Control con qcr (Etapa Controlar)

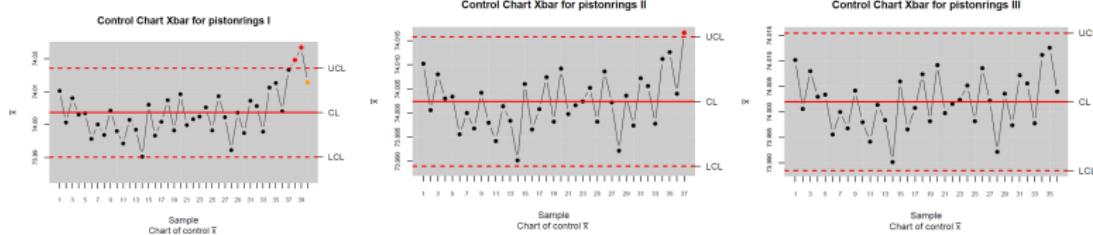


Figura: Gráficos de control \bar{x} , con la función **qcr()**, para la base de datos **pistonrings**

Gráficos de Control con qcr (Etapa Controlar)

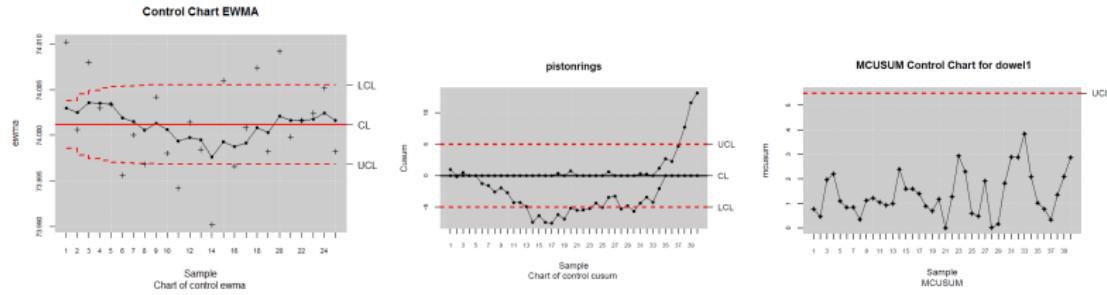


Figura: Gráficos de control EWMA, CUSUM y MCUSUM con `qcr()`

Gráficos de Control no paramétricos con qcr (Etapa Controlar)

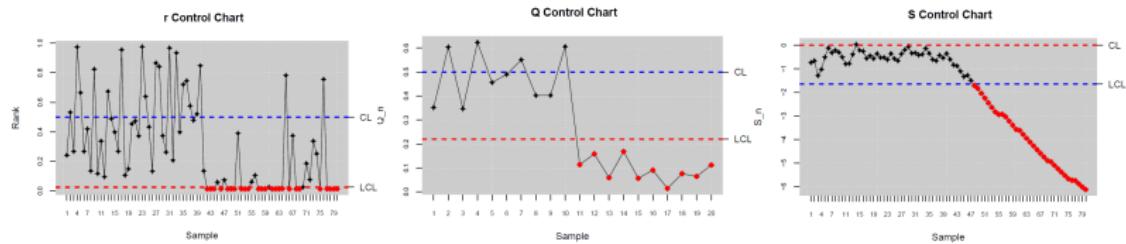
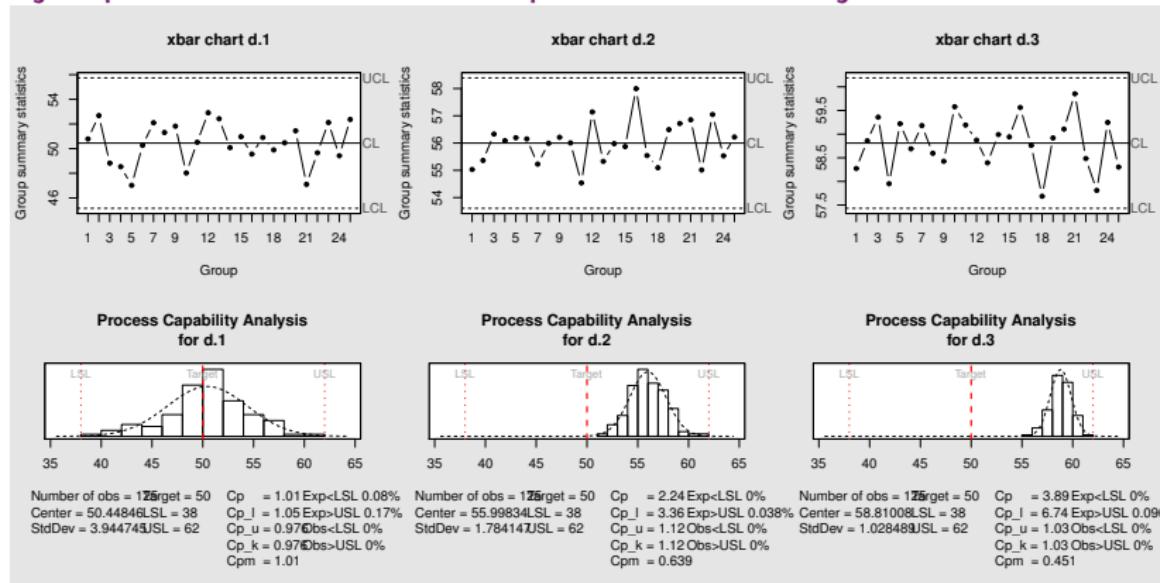


Figura: Gráficos de control r, q y s de tipo no paramétrico con **qcr()**

Capacidad del proceso (Etapa Controlar)

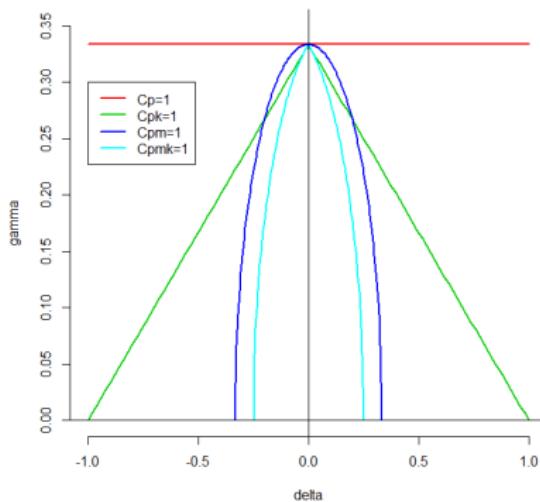
Ejemplo del estudio de la capacidad de 3 conjuntos de datos



capacidad con qcr

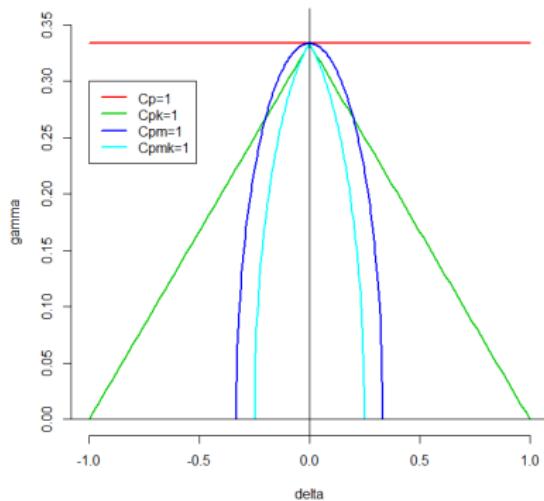
Capacidad del proceso con qcr (Etapa Analizar)

Nuevos índices robustos con
qcr

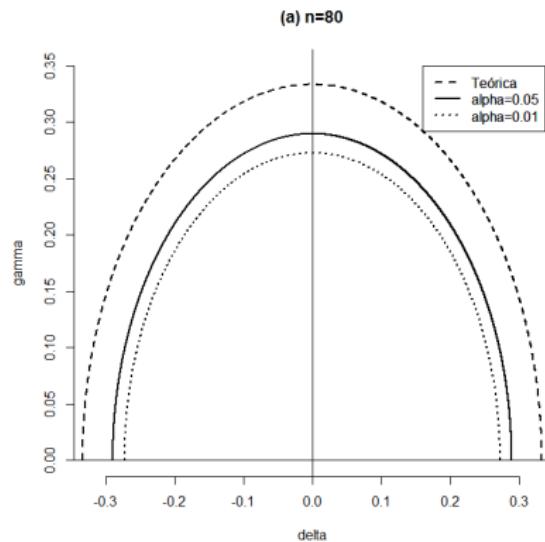


Capacidad del proceso con qcr (Etapa Analizar)

Nuevos índices robustos con qcr



Nuevos índices robustos con qcr



Objetivos

Participantes

Razones para elegir R

Paquetes de R para CEC

Paquete qcr

Estudios interlaboratorio y CEC con la librería ILS

Gráficos de control para perfiles con fda.qc

Conclusiones

Interlaboratory study (ILS): descripción general

Definition

- ▶ A menos 6 laboratorios.
- ▶ (1) Para contrastar la precisión de un método analítico experimental, (2) para evaluar el desempeño de laboratorios en la realización de un determinado procedimiento analítico, (3) para certificar materiales de referencia, (4) para evaluar una nueva norma basada en medidas experimentales.
- ▶ Procedimiento del CEC para evaluar la consistencia de los resultados: **detectar los laboratorios que proporcionan resultados significativamente diferentes**. Desechar los laboratorios con resultados inconsistentes.
- ▶ Metodología actual (univariante): **ASTM691**.
- ▶ Propuesta de un **nuevo enfoque** considerando la naturaleza funcional de gran cantidad de datos obtenidos en química analítica, física, etc.: **functional data analysis (FDA)**.
- ▶ **ASTM691**: se extrae una característica de la curva (termograma, espectro, etc.). **Nuevo enfoque**: Cada curva puede considerarse como un dato de dimensión infinita.

Librería ILS

ILS {ILS}

R Documentation

Interlaboratory Study

Description

Interlaboratory Study

Details

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 the testing variable means corresponding 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 functional Mandel's h and k statistics by smoothing bootstrap resampling of distribution.

[Package ILS version 0.1.0 [Index](#)]

R topics documented:

bootstrap.quantile.fqcs	2
Cochram.test	4
Glucose	5
Grubbs.test	5
h.fqcs	6
h.qces	8
IDT	9
ILS	9
k.fqcs	10
k.qces	11
lab.aov	12
lab.fqcd	13
lab.fqcs	14
lab.qcd	15

► ILS univariante:

- ▶ Análisis de la varianza (ANOVA).
- ▶ Test de Tukey para comparaciones de laboratorios dos a dos (considerando los valores medios).
- ▶ Test de Grubbs y Cochram para la detección de outliers.
- ▶ Obtención de los estadísticos h y k de Mandel (salida gráfica).

► Alternativa FDA para el ILS:

- ▶ Análisis exploratorio de datos desde el enfoque FDA.
- ▶ Estimación de cuantiles.
- ▶ **Estimación, desde la perspectiva FDA, de los estadísticos h y k de Mandel.**

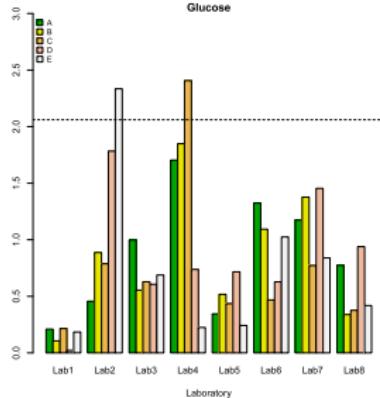
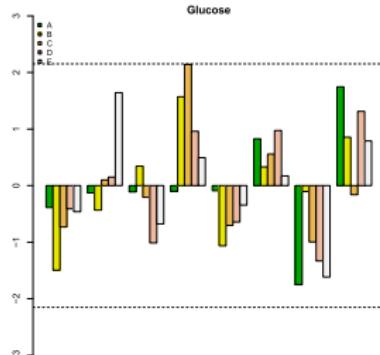
ILS univariante

- ▶ La ASTM691 sólo está definida para variables escalares.
- ▶ h mide la variabilidad inter-laboratorio y k la variabilidad intra.
- ▶ Con el objeto de evaluar la consistencia de los resultados proporcionados por los diversos laboratorios, los valores de h y k se comparan con ciertos valores críticos h_{crit} y k_{crit} .

$$h_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{\bar{x}}}{\sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2}}; \quad h_{crit} = \frac{(p-1) \cdot t}{\sqrt{p \cdot t^2 + p - 2}},$$

$$k_i = \frac{S_i}{S_r} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p S_i^2}}; \quad k_{crit} = \sqrt{\frac{p}{1 + \frac{p-1}{F}}},$$

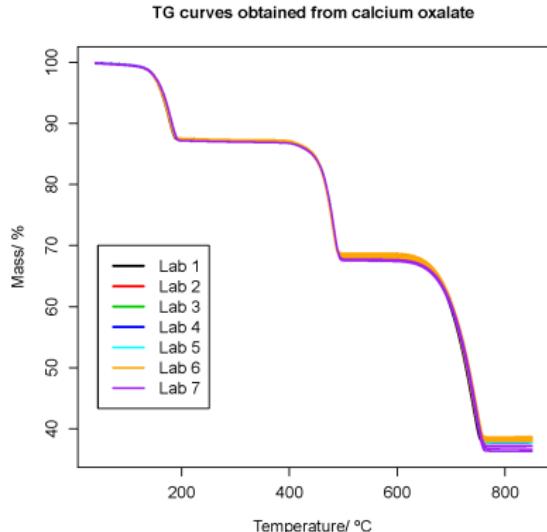
- ▶ Datos: Medidas de concentración de glucosa en sangre usadas para controlar la diabetes. Ocho laboratorios llevaron a cabo pruebas con 5 muestras de sangre diferentes, con 3 réplicas por muestra. Datos obtenidos a partir de la norma ASTM E 691.



Datos TG del paquete ILS: datos funcionales

Procedimiento experimental del ILS simulado

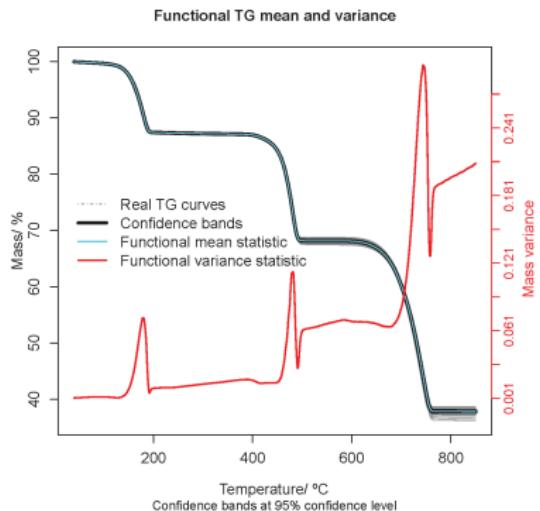
1. 7 laboratorios diferentes. Cada laboratorio analiza 15 muestras de oxalato de calcio mediante análisis termogravimétrico (TG).
2. La velocidad de calentamiento es de $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$, entre 20 y $900^{\circ}\text{C}/\text{min}$, en atmósfera oxidante (flujo de aire 50 mL/min).



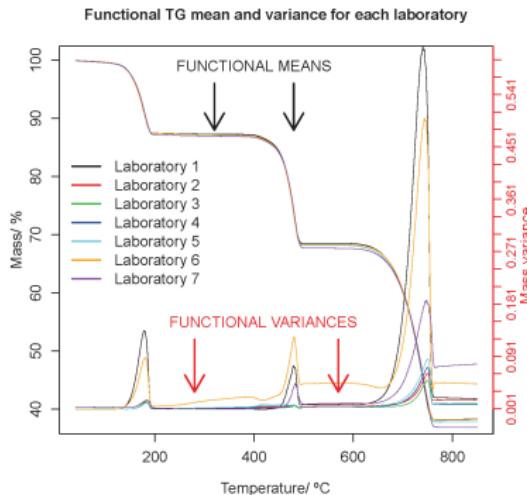
Laboratorio 1	Aparato STA con especificaciones de calibración desfasadas
Laboratorio 2	Grupo de laboratorios
Laboratorio 3	que proporcionan
Laboratorio 4	resultados consistentes
Laboratorio 5	mediante un aparato SDT
Laboratorio 6	Aparato SDT con especificaciones de calibración desfasadas
Laboratorio 7	Calibración de temperatura con un sesgo de 2°C

ILS: análisis descriptivo FDA

Estadísticos FDA para la muestra completa

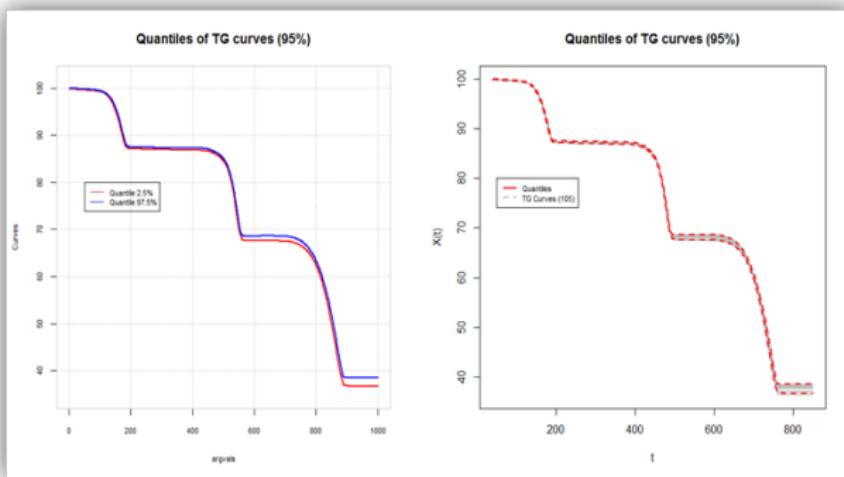


Estadísticos FDA para cada laboratorio



ILS: cálculo de los h y k funcionales

- ▶ Análisis de datos funcionales (FDA): se trata cada curva como un dato de dimensión infinita.
- ▶ Técnicas descriptivas FDA: medias y varianzas funcionales mediante `lab.fqcd`.
- ▶ h FDA: una curva para cada laboratorio (cálculo punto a punto).
- ▶ k FDA: una curva para cada laboratorio (cálculo punto a punto).
- ▶ Los estadísticos h and k funcionales se estiman para cada laboratorio mediante la librería **R package ILS**.



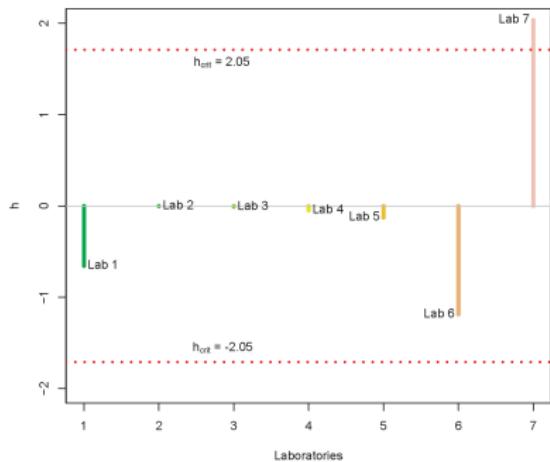
ILS: cálculo de los h_{crit} y k_{crit} funcionales

- ▶ Los valores críticos de h y k se obtienen por un procedimiento bootstrap suavizado (Febrero, 2012).
- ▶ Las muestras bootstrap suavizadas son $y_i^b = x_i^b + z_i^b$, donde x_i^b se obtienen mediante bootstrap naive y se suavizan sumando z_i^b , proceso gausiano de media cero y matriz de covarianza la muestral, Σ .
- ▶ Las curvas TG correspondientes a lo diferentes laboratorios, fueron remuestreadas considerando la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre las medidas obtenidas por los 7 laboratorios.
- ▶ Todas las curvas TG correspondientes a cada laboratorio (15) se agrupan en un sólo conjunto de 105 curvas. De este grupo principal, se generan 7 nuevos conjuntos compuestos por 15 curvas y se asignan a 7 laboratorios simulados. Seguidamente, se estiman los estadísticos h y k funcionales.
- ▶ Se obtiene el valor crítico del contaste (p. ej. cuantil 95 %) para cada remuestreo ($B = 200$):
 1. Se calculan los cuantiles $1 - \frac{\alpha}{2}$ y $\frac{\alpha}{2}$ punto a punto (Walter, 2011).
 2. Se calculan las profundidades de cada curva h o k en cada remuestra y se selecciona el $(1 - \alpha) 100\%$ más profundas. Las curvas correspondientes a las profundidades mínima y máxima serán los cuantiles del remuestreo.
- ▶ Se calcula el promedio de los cuantiles de los remuestreos.
- ▶ Se determina una bola de confianza para la estimación de los cuantiles.

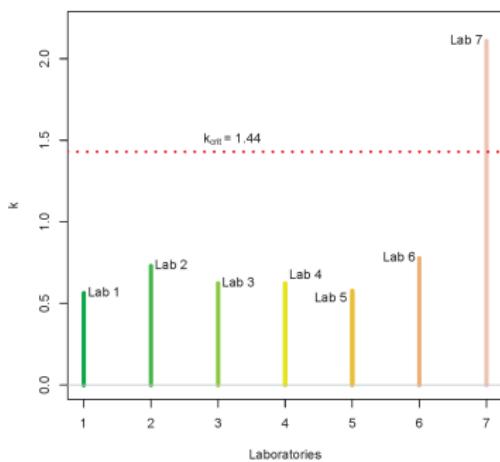
ILS: ASTM 691

Se extrae una característica representativa de las curvas TG: pérdida de masa en el segundo escalón de las curvas TG. Se aplica el método univariante descrito en la norma ASTM 691: lab 7, detectado como atípico.

Estadístico h

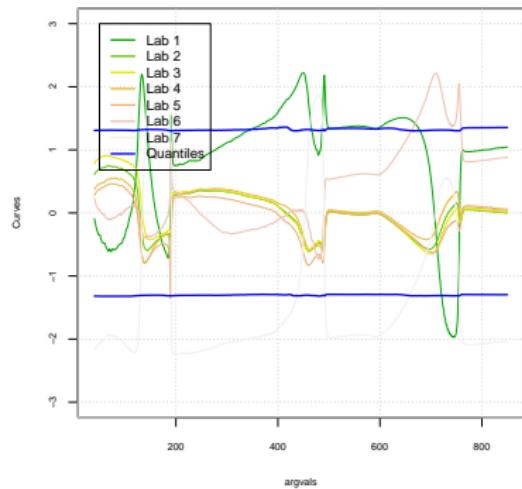


Estadístico k

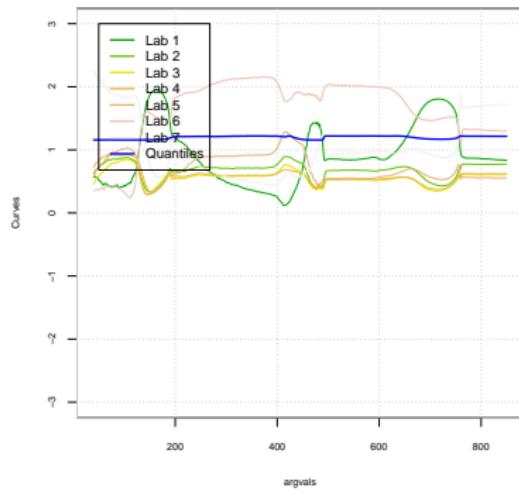


Estadísticos FDA k y h

Statistical h by the method's Walter



Statistical k by the method's Walter



Objetivos

Participantes

Razones para elegir R

Paquetes de R para CEC

Paquete qcr

Estudios interlaboratorio y CEC con la librería ILS

Gráficos de control para perfiles con fda.qc

Conclusiones

Building Management System: eficiencia energética

Building Management System:

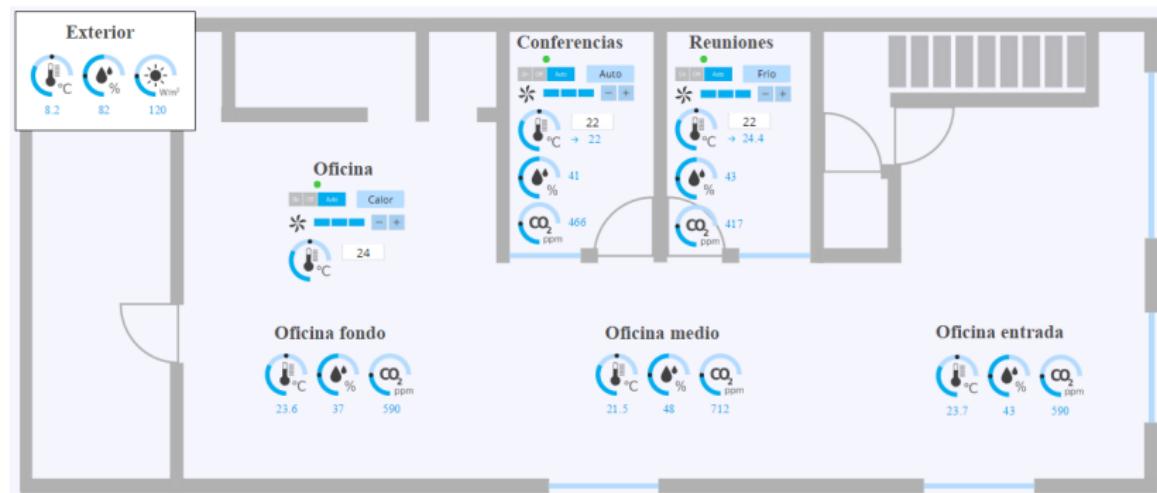
- ▶ Sistema computerizado para el automatizado.
- ▶ Supervisa, Controla, Documenta.
- ▶ **HVAC (heating, ventilating, and air conditioning), sistemas eléctricos, sistemas de iluminación, sistemas hidráulicos, elevadores, sistemas de audio y video...**
- ▶ Captura de datos mediante el sistema **Machine to Machine (M2M)**.

Beneficios:

- ▶ **Ocupantes: confort interior, mayor productividad.**
- ▶ **Propietarios: consumo por persona, control remoto y monitoreo, verificación del cumplimiento de regulaciones, históricos de informes y toma de decisiones.**
- ▶ **Proveedores: disponibilidad de información, mantenimiento computerizado, detección pronta de problemas.**

Plataforma energética: FRIDAMA, Σqus y Nerxus

- ▶ **FRIDAMA:** diseño, desarrollo, aplicación y mantenimiento de HVAC. Gestión Energética.
- ▶ **Σqus:** Desarrollo y gestión de Plataformas Energéticas Web para analizar, controlar y optimizar instalaciones energéticas.



Introducción

- ▶ Mediante la librería `fda.qc`, se están desarrollando nuevas alternativas para **gráficos de control cuando la variable crítica para la calidad (CTQ) es funcional, un perfil.**
- ▶ Desarrollo de gráficos de control para series de tiempo funcionales.
- ▶ **Fases:** Calibración (límites de control) y monitorizado.
- ▶ **Aplicación:** controlar el comfort térmico, calidad del aire y eficiencia energética en viviendas.
- ▶ **Caso de estudio:** datos horarios, pentaminutales, minutales de temperatura interior, cantidad de CO₂, humedad relativa, consumo, etc.

Metodología

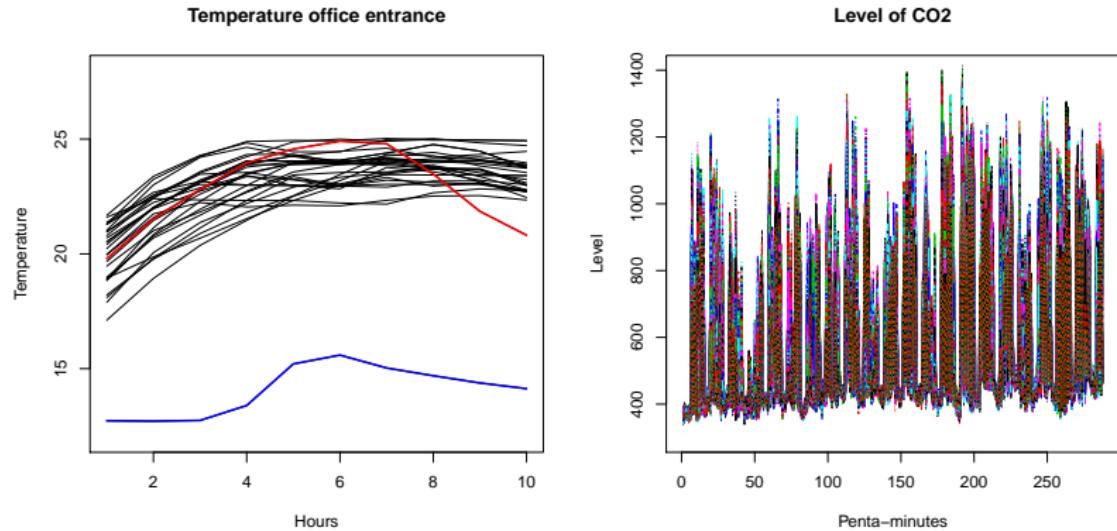
Se están desarrollando dos alternativas para gráficos de control con datos funcionales:

1. Aplicación del gráfico de control r propuesto por Liu (1995). Las opciones de profundidad FDA disponibles son la profundidad Moda, Proyecciones Aleatorias, Mediana y Banda Modificada.
 - ▶ Se aplican **Block bootstrap** (Liu and Singh, 1992) para estimar el límite de control del estadístico r , teniendo en cuenta dependencia entre curvas.
 - ▶ El **Smoothed bootstrap** no considera la dependencia entre curvas.
2. Gráfico de control FDA para la variable funcional $X(t)$, definida en un continuo t . Se utiliza smoothed bootstrap para estimar las bandas de control de $X(t)$. Los cuantiles así estimados tienen el mismo papel que los límites de control en univariante.

Caso de estudio: eficiencia energética

- ▶ **Comfort térmico y calidad del aire en edificios:** se mide la temperatura y contenido en CO_2 mediante sensores en una nave industrial.
- ▶ Medidas pentaminutales del contenido en CO_2 de mayo a septiembre de 2015.
- ▶ Medidas horarias en horario de ocupación de la temperatura a la entrada de la oficina, entre enero y marzo de 2015.
- ▶ **Objetivo:** estimar los límites de control, detectar situaciones fuera de control debido a causas asignables (nivel (06/01/2015) y tasa de cambio (02/01/2015)).
- ▶ Es factible asumir que hay **dependencia** entre las diferentes curvas diarias.

Caso de estudio: recogida de datos

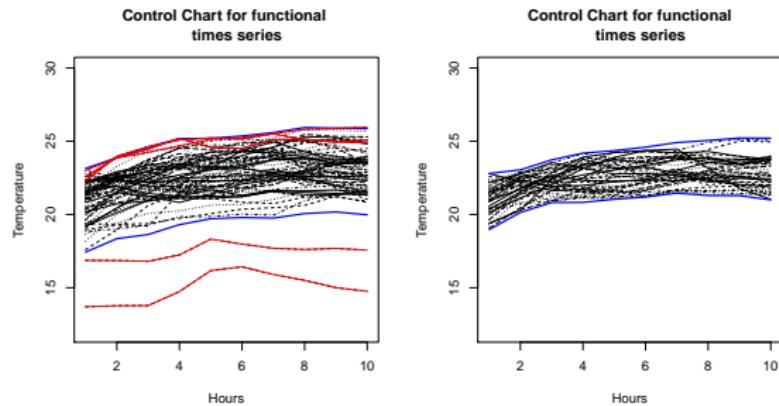


FASE I - Calibración: estimación bandas de control

- ▶ En la fase de calibración se estima la variabilidad de la variable CTQ que define al proceso.
- ▶ Gráfico para las curvas de temperatura diarias y para su derivada: Controlamos la posición y la forma de las curvas de temperatura.
- ▶ El proceso ha de estar bajo control. Mediante un proceso iterativo se eliminan de los cálculos aquellas curvas que se desvían significativamente de las otras. Se eliminan curvas sólo si hay causas asignables.
- ▶ Estimación de la bandas de control mediante bootstrap suavizado y el concepto de profundidad de datos.

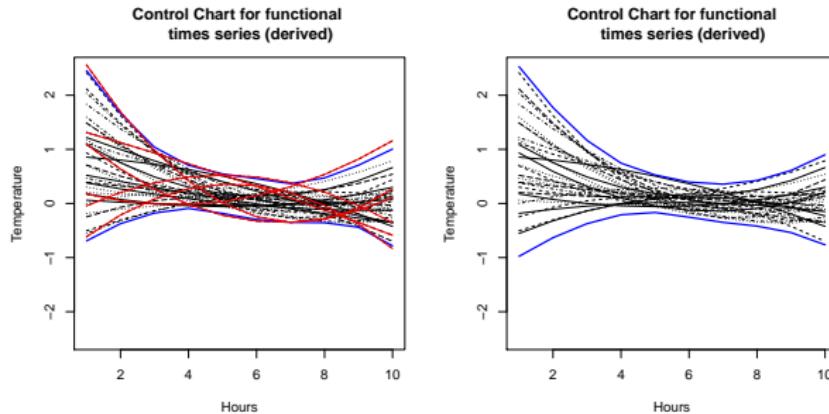
FASE I - Calibration: estimación bandas de control

- ▶ 25 curvas son eliminadas de los cálculos de las bandas de confianza. Causa assignable: festivos, fin de semana, alta ocupación por algún evento, problemas de regulación HVAC, aumento de temperatura ambiente, etc.



FASE I - Calibratción: estimación bandas de control

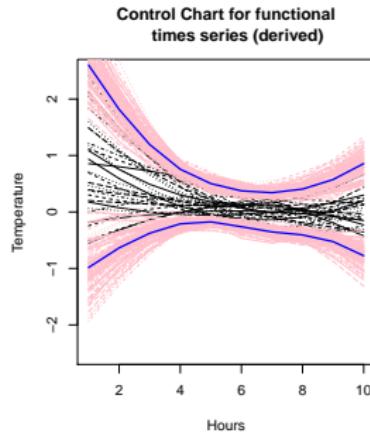
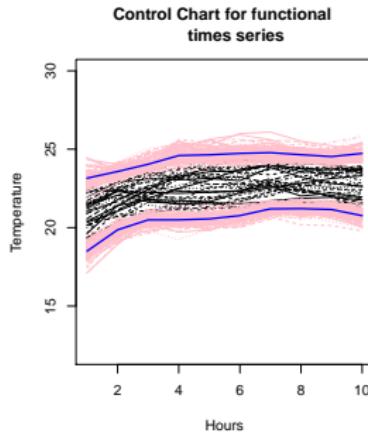
- ▶ Se proponen gráficos de control FDA aplicados a la primera derivada, para detectar desviaciones debidas a variaciones en la tasa de cambio.



- ▶ Se han detectado 6 curvas fuera de control debido a corresponder a cambios abruptos y repentinos relacionados con cambio de regulación HVAC.

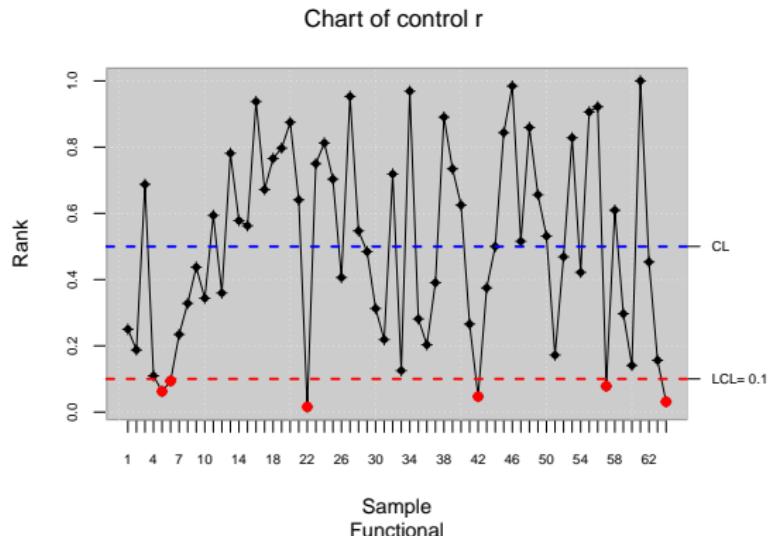
FASE II - Monitorizado

- ▶ Se han obtenido los límites de control, que se corresponden a los cuantiles funcionales 0.975 and 0.025. Detecta anomalías, evita la aparición de falsas alarmas debidas a la autocorrelación de los datos.
- ▶ El muestreo bootstrap se ha caracterizado por $B = 200$ replicas. Este enfoque no tiene en cuenta la dependencia entre curvas.



Control Chart r

- ▶ El gráfico de control del estadístico rank r se calcula a partir de la profundidad FDA mediante el paquete fda.qc.
- ▶ Se tiene en cuenta dependencia entre curvas mediante la aplicación de bootstrap por bloques para estimar los límites de control.



Objetivos

Participantes

Razones para elegir R

Paquetes de R para CEC

Paquete qcr

Estudios interlaboratorio y CEC con la librería ILS

Gráficos de control para perfiles con fda.qc

Conclusiones

Conclusiones

1. Se han propuesto e implementado en R **metodologías estadísticas** relacionadas con el diseño de experimentos y el CEC, de aplicación en ciencia de materiales y eficiencia energética.
2. La librería **qcr** de R se ha desarrollado para llevar a cabo las tareas de control y análisis de capacidad de procesos dentro del control estadístico de calidad y la metodología Seis Sigma, desde los enfoques paramétrico y no paramétrico.
3. Mediante la creación de la librería **ILS** de R, se han implementado técnicas tradicionales y enfoques más novedosos FDA para llevar a cabo estudios interlaboratorio.
4. El paquete **fda.qc**, en desarrollo, proporciona alternativas de gráficos de control para perfiles, desde el enfoque FDA.

Referencias

-  BOX G. E. P. Y LUCEÑO A. (1997). *Statistical Control by Monitoring and Feedback Adjustment*. Wiley.
-  BOX, G.E.P., HUNTER, W. Y HUNTER, J.S. (2008). *Estadística para Investigadores*. Reverté.
-  MONTGOMERY D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control*. Wiley.
-  FLORES, M., NAYA S., TARRÍO-SAAVEDRA, J. Y FERNÁNDEZ-CASAL R. (2016).
Librería qcr (quality, control and reliability). <http://www.R-project.org>.
-  FLORES, M., NAYA S., TARRÍO-SAAVEDRA, J., FERNÁNDEZ-CASAL R. Y ARIAS, R. (2016).
Librería ILS (Interlaboratory Study) <https://cran.r-project.org/web/packages/ILS/index.html>.
-  MEEKER W, ESCOBAR L. (1998). *Statistical Methods for Reliability Data*. Wiley.
-  WALTER, S. (2011). *Defining Quantiles for Functional Data: with an Application to the Reversal of Stock Price Decreases*, Department of Math. and Stat. The Uni. of Melbourne.
-  FEBRERO, M. Y OVIEDO, M. (2012) Statistical Computing in Functional Data Analysis: The R Package fda.usc, *Journal of Statistical Software*.

Control estadístico de la calidad mediante las librerías qcr, ILS y fda.qc

Salvador Naya · Javier Tarrío · Miguel Flores

Grupo MODES, Departamento de Matemáticas, Universidade da Coruña
Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

III XORNADA DE USUARIOS R EN GALICIA

Facultade de Matemáticas (USC)
20 de outubro, 2016