



# Control estadístico de procesos mediante el paquete qcr

Salvador Naya, Javier Tarrío, Miguel  
Flores, Rubén Fernández

**VIII Xornada de Usuarios de R en Galicia**

Santiago de Compostela, 14/10/2021



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



---

UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



# Contenidos

Ida y vuelta a Ecuador en R

Paquete qcr

Caso de estudio: Canal de Panamá Ampliado

Control de procesos definidos por una variable

Análisis de capacidad de procesos

Control de procesos multivariante

Gráficos de control multivariantes no paramétricos

Gráficos de control para datos funcionales

Líneas futuras de investigación

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



# Diferentes actos en Ecuador: Quito, Riobamba, Cuenca



11-15 NOVIEMBRE DE  
2013  
QUITO - ECUADOR

## ORGANIZADOR



## CO-ORGANIZADORES Y SEDES

- Universidad  
Av. 12 con Octubre 1074 y Pineda  
Presidente  
PRESIDENCIA  
DIRECCIÓN  
DIRECCIÓN  
Luis de Cuenca 411 - 290  
Quito, Ecuador

## AVAL ACADÉMICO



## AUSPICIANTES





# AGENDA TACONES



DRA. YAROSLAVA ROBLES

*Los estereotipos de mujeres  
y la violencia cultural*

ESTE SÁBADO  
10H00

Tacones y  
Braguetas  
15 años

radioactive  
FM 88  
25 AÑOS

piel & vida

guafit

om'dental  
centro de especialidades odontológicas

DV

DANIELA VILLAVICENCIO  
DERMATÓLOGA



MediAUSTRO

Botanica  
Rosario

TRI  
LOGIA

- ESCUELA POLITÉCNICA SALESIANA: BIOMEDICINA
- MÉDICA
- MAGISTER EN INVESTIGACION DE LA SALUD
- MÁSTER UNIVERSITARIO EN ANTROPOLOGÍA MÉDICA Y SALUD INTERNACIONAL
- DOCTORA, PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA SALUD
- ASIGNATURAS: ANATOMÍA MECATRÓNICA BIOESTADÍSTICA



# Estadística Descriptiva

con R.

Gráficos  
avanzados  
y aplicaciones

Antonio Meneses Freire  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
CHIMBORAZO (RIOBAMBA)



Autores:

Manuel Antonio Meneses Freire, Ph.D  
Lourdes del Carmen Zuñiga Lema, M.Sc  
Silvia Mariana Haro Rivera, M.Sc

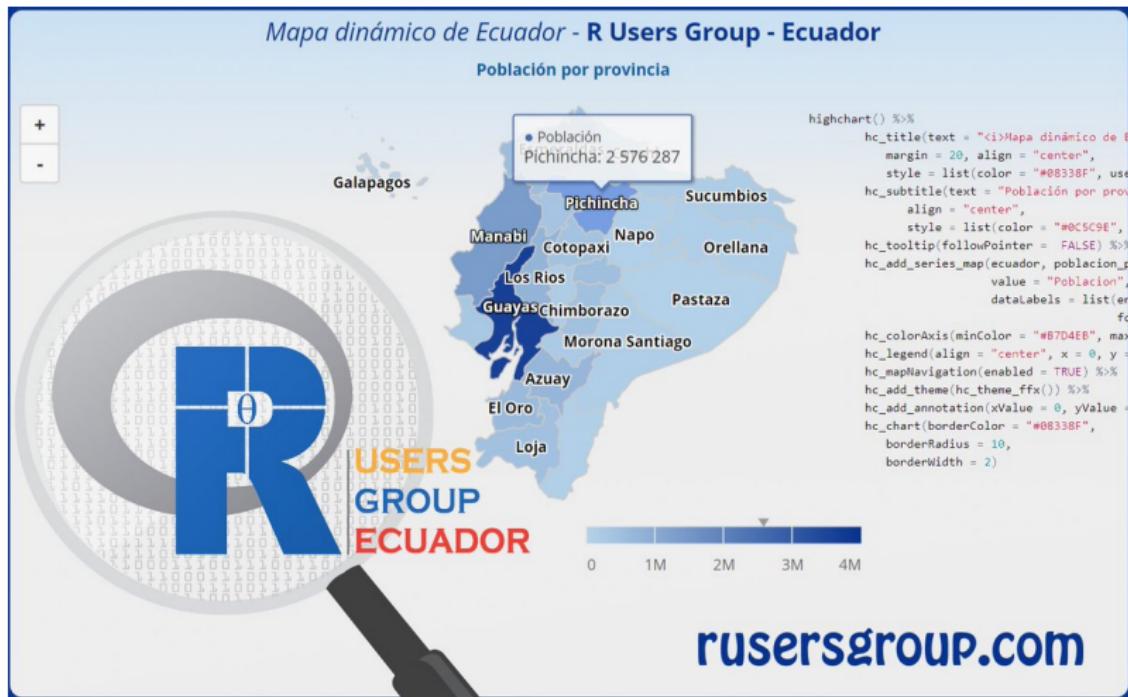
# Miguel Flores - Escuela Politécnica Nacional (Quito)

INSTRUCTOR DEL DIPLOMADO



- Ph.D. en estadística e investigación de operaciones.
- Máster en Técnicas Estadísticas (Universidad de La Coruña).
- Experiencia en educación y formación profesional superior, universitaria y empresarial en el campo de la Statistics & Machine Learning.
- Profesor Titular de la cátedra Probabilidad y Estadística, en la Escuela Politécnica Nacional.
- Miembro del Grupo de Investigación Multidisciplinaria en Sistemas de Información, Gestión de la Tecnología e Innovación (SIGTI) de la Escuela

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



# Diferentes actividades del 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 Interdisciplinarios (Metrología 4.0)
- Ciberseguridad (Internet)

Instructor: Ph.D. Miguel Flores  
Organiza:  
 ANALYTICS  
[capacitacion@rusergroup.com](mailto:capacitacion@rusergroup.com)  
[Rusergroup](https://www.rusergroup.com)

40 horas presenciales



1. TTS (2015): Time Temperature Superposition.
2. FCGR (2015): Fatigue Crack Growth in Reliability.
3. ILS (2018): Interlaboratory Studies.
4. **qcr (2021): Quality Control Review.**
  - Flores, M., Fernández-Casal, R., Naya, S., Tarrío-Saavedra, J. (2021). Statistical Quality Control with the qcr Package. *R Journal*, 13(1).
  - Miguel Flores (2021). **qcr: Quality Control Review. R package version 1.3.** <https://CRAN.R-project.org/package=qcr>

# Package ‘qcr’ May 15, 2021

**Type** Package

**Title** Quality Control Review

**Version** 1.3

**Date** 2021-05-14

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

**Description** Univariate and multivariate SQC tools that completes and increases the SQC techniques available in R. Apart from integrating different R packages devoted to SQC ('qcc','MSQC'), provides nonparametric tools that are highly useful when Gaussian assumption is not met. This package computes standard univariate control charts for individual measurements, X-bar, S, R, p, np, c, u, EWMA and CUSUM. In addition, it includes functions to perform multivariate control charts such as Hotelling T2, MEWMA and MCUSUM. As representative feature, multivariate nonparametric alternatives based on data depth are implemented in this package: r, Q and S control charts. In addition, Phase I and II control charts for functional data are included. This package also allows the estimation of the most complete set of capability indices from first to fourth generation, covering the nonparametric alternatives, and performing the corresponding capability analysis graphical outputs, including the process capability plots.

**License** GPL (>= 2)

**LazyData** yes

**Encoding** UTF-8

**RoxygenNote** 7.1.1

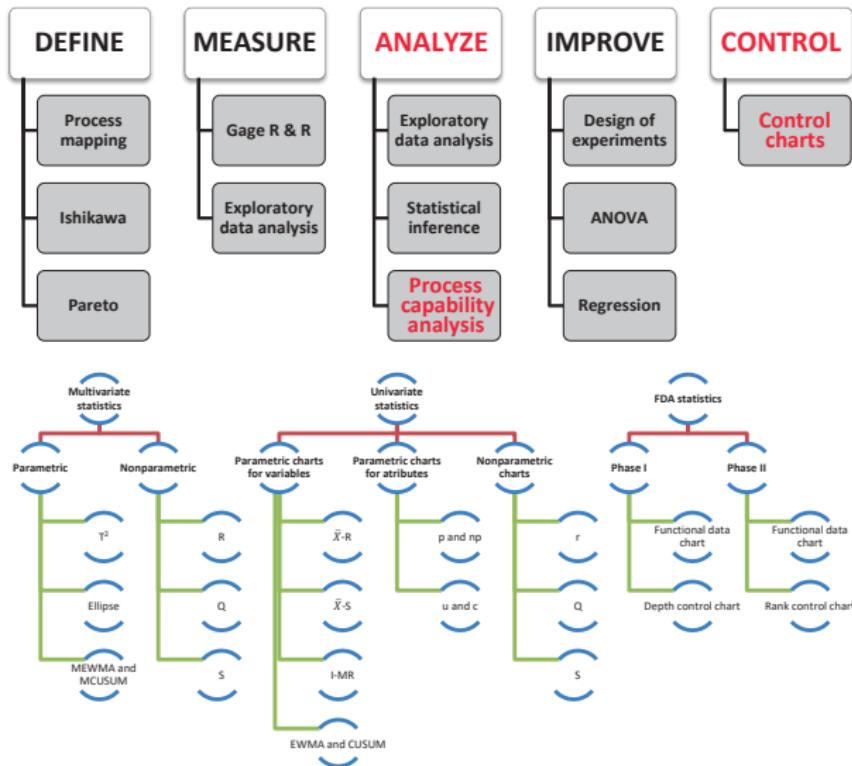
**NeedsCompilation** no

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

**Maintainer** Miguel Flores <ma.flor...@outlook.com>

Control de procesos, Detección de anomalías, Análisis de la capacidad de procesos para cumplir especificaciones.

# Proceso Seis Sigma - Técnicas SPC implementadas



# Bases de datos - Casos de estudio incluidos

- archery1 (MSQC)
- circuit (qcc)
- dowel1 (MSQC)
- orangejuice (qcc)
- pcmanufact (qcc)
- pistonrings (qcc)

	Name	Description
counters		A water supply company wants to control the performance of the water counters installed throughout a city. For this purpose, 60 rational samples have been taken, each one composed by 3 measurements, from the same age (10 years) and caliber water counters corresponding to two different brands, and during a period of 5 years. This dataset is based on a study case of A Coruña's water supply company, Empresa Municipal de Aguas de La Coruña (Emalcsa).
employment		A Spaniard-Argentinian hotel company wants to control the level of occupancy (measured in %) in their establishments through the application of a continuous control. For this purpose, 48 subsamples have been taken from six hotels corresponding to two different countries.
oxidation		This database contains information about the resistance against the oxidation of olive oil of the Picual variety. Five measurements of the Onset Oxidation Temperature (OOT, index that measures the resistance against the oxidation) are obtained from 50 batches of Picual olive oil produced in chronological order. It is importantly to note that OOT decreases as the oil is progressively mixed with other olive oil varieties defined by a lower OOT.
plates		A chemical company is developing a patent for a new variant of artificial stone mostly made of quartz (93wt% and polyester resin). This company is launching a pilot plant where it begins to produce plates of this material on an industrial scale. The CTQ variable of this product is the Vickers hardness. In order to measure the hardness level and hardness homogeneity of the product, 50 plates have been measured 5 times in different sections. The characteristic learning curves, through gradual level change, can be observed.
presion		A shipyard of recreational boats is intended to optimize and control the mechanical properties of the yacht hulls made of a composite based on epoxy resin. In this regard, the modulus of elasticity due to tensile efforts is measured after applying two different curing pressures: 0.1 and 10 MPa. Overall, 60 subsamples, composed of three measurements, obtained from 60 vessels, have been taken.



## CANAL DE PANAMÁ AMPLIADO:

Esclusas: Cocolí (Pacífico), Agua Clara (Atlántico).  
Buques LNG, PLP, portacontenedores.  
CTQ tiempo de tránsito en las esclusas (dir. N-S).

## Gráficos de control

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

$$\text{UCL} = \mu_w + L\sigma_w$$

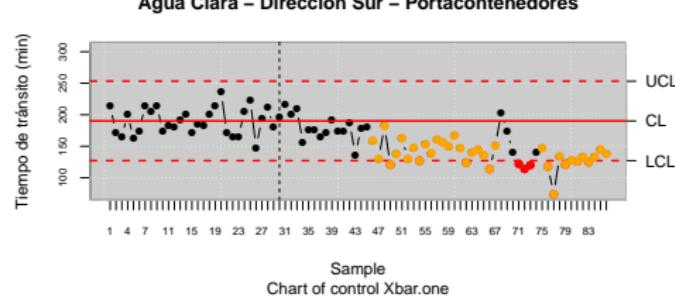
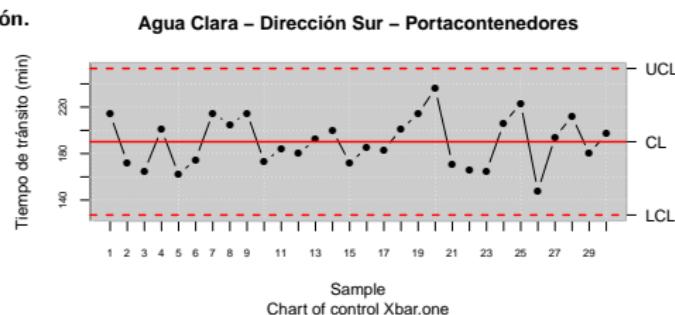
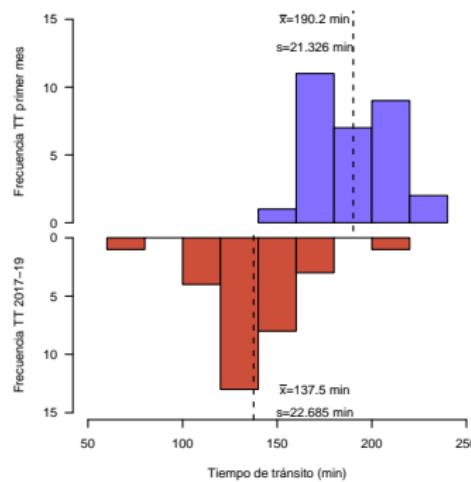
$$\text{CL} = \mu_w$$

$$\text{LCL} = \mu_w - L\sigma_w$$

# Control univariante: gráfico de medidas individuales

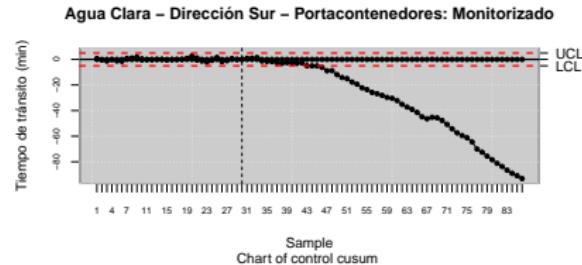
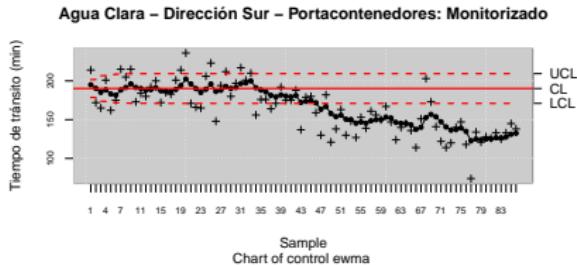
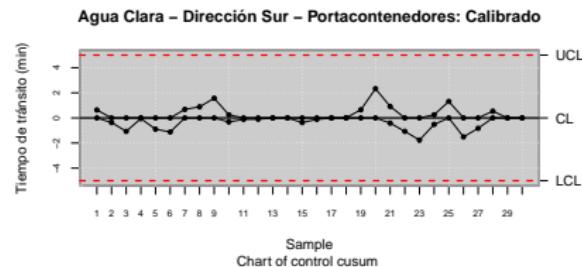
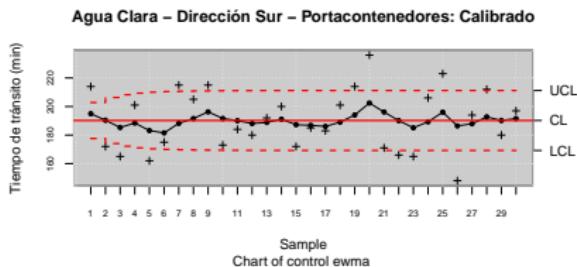
- Tránsito de buques portacontenedores través de Agua Clara, dirección Sur.
- `qcd(data, var.index=1, sample.index=2, covar.index=NULL, covar.names=NULL, data.name=NULL, type.data=c("continuous", "atributte", "dependence"), sizes=NULL)`
- `qcs.one(x, center=NULL, std.dev=c("MR", "SD"), k=2, conf.nsigma=3, limits=NULL, plot=FALSE, ...)`

Identificación cambio de proceso: 16<sup>a</sup> observación.



# Control univariante: gráficos con memoria

- Tránsito de buques portacontenedores través de Agua Clara, dirección Sur.
- Detectar cambios de menos de  $2\sigma$ .
- `qcs.ewma(x,center=NULL, std.dev=NULL, nsigma=3, lambda=0.2, plot=FALSE, ...)`
- `qcs.cusum(x,center=NULL, std.dev=NULL, decision.interval = 5, se.shift = 1, plot = FALSE, ...)`
- **Cambio de proceso: 13<sup>a</sup> observación.**



# Índices de capacidad de proceso

- ¿Son capaces las instalaciones del Canal Ampliado de cumplir las especificaciones de la Autoridad del Canal de Panamá?
- Proceso capaz cuando  $PCR \geq 1,33$  ( $\approx 96$  defectos por millón).
- $C_p(u, v) = \frac{d-u|\mu-m|}{3\sqrt{\sigma^2+v(\mu-T)^2}}$ . Los índices que aparecen en la tabla se obtienen mediante esta expresión considerando valores de 0 ó 1 para  $u$  y  $v$ :  $C_p(0, 0) = C_p$ ,  $C_p(1, 0) = C_{pk}$ ,  $C_p(0, 1) = C_{pm}$ ,  $C_p(1, 1) = C_{pkm}$ , con  $m = \frac{USL+LSL}{2}$  y  $d = \frac{USL-LSL}{2}$ .

Potential capability	$\hat{C}_p = \frac{USL-LSL}{6\hat{\sigma}}$
	$\hat{C}_{p,lower} = \frac{\hat{\mu}-LSL}{3\hat{\sigma}}$
Actual capability with respect to the specification limits	$\hat{C}_{p,upper} = \frac{USL-\hat{\mu}}{3\hat{\sigma}}$
	$\hat{C}_{pk} = \min \left[ \frac{USL-\hat{\mu}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\hat{\mu}-LSL}{3\hat{\sigma}} \right]$
Shifting of the mean with respect to the target	$\hat{C}_{pm} = \frac{\hat{C}_p}{\sqrt{1 + \left( \frac{\hat{\mu}-T}{\hat{\sigma}} \right)^2}}$
$C_{pk}$ correction for detecting deviations with respect to the target	$\hat{C}_{pkm} = \frac{\hat{C}_{pk}}{\sqrt{1 + \left( \frac{\hat{\mu}-T}{\hat{\sigma}} \right)^2}}$

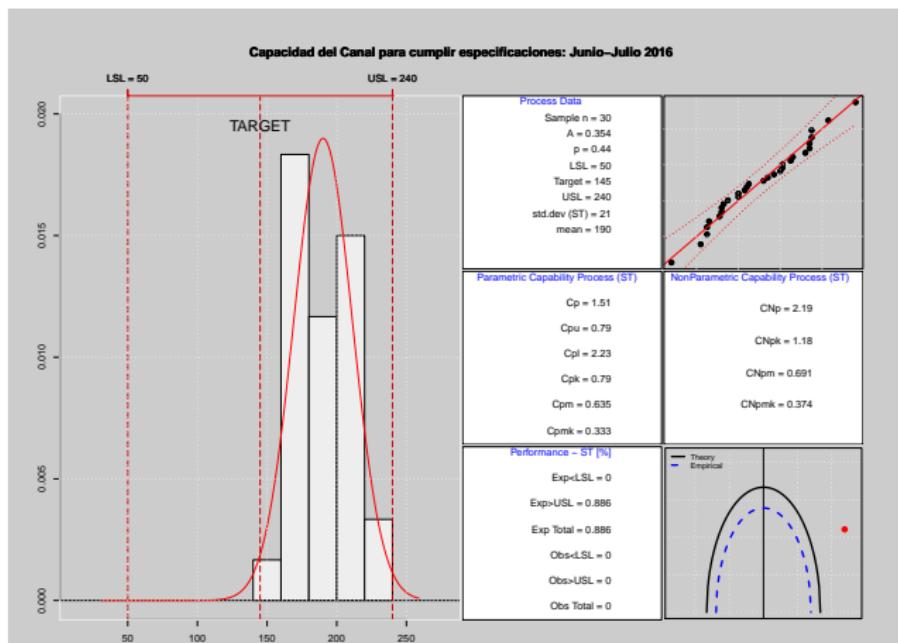
PCR de primera a cuarta generación,  $USL$ : límite superior de especificación,  $LSL$ : límite inferior de especificación,  $\mu$ : media real,  $\hat{\mu}$ : media estimada, y  $\hat{\sigma}$ : desviación estándar estimada.

## Gráfico de capacidad - Capacidad no paramétrica

- **Gráfico de contorno** de  $C_p(u, v) = k$  en función de  $\delta$  (posición) y  $\gamma$  (dispersión), con  $\delta = \frac{\mu - T}{d}$  y  $\gamma = \frac{\sigma}{d}$ .
- Frontera del proceso capaz:  $C_p(u, v)$  en función de  $\delta$  y  $\gamma$  según  $C_p(u, v) = \frac{1-u|\delta|}{3\sqrt{\gamma^2+v(\delta)^2}}$ .
- Por lo tanto, resolvemos la ecuación  $C_p(u, v) = k$ , graficando  $\gamma = \sqrt{\frac{(1-u|\delta|)}{9k^2} - v\delta^2}$ ,  $|\delta| \leq \frac{1}{u+3k\sqrt{v}}$ ,  $(u, v) \neq (0, 0)$ . Cuando  $u = v = 0$  ( $C_p = k$ ), tenemos  $\gamma = \frac{1}{3k}$  y  $|\delta| \leq 1$ .
- **Versión no paramétrica:**  $\hat{C}_{Np}(u, v) = \frac{d-u|\hat{M}-m|}{3\sqrt{\left(\frac{U_p-L_p}{6}\right)^2 + v(\hat{M}-T)^2}}$ , con  $U_p$  como estimador de  $F_{99,865}$  y  $L_p$  de  $F_{0,135}$ , siendo  $\hat{M}$  estimador de la mediana,  $M$ .
- **Especificaciones de la Autoridad del Canal:**  $USL = 240\text{min}$  y  $LSL = 50\text{min}$ .

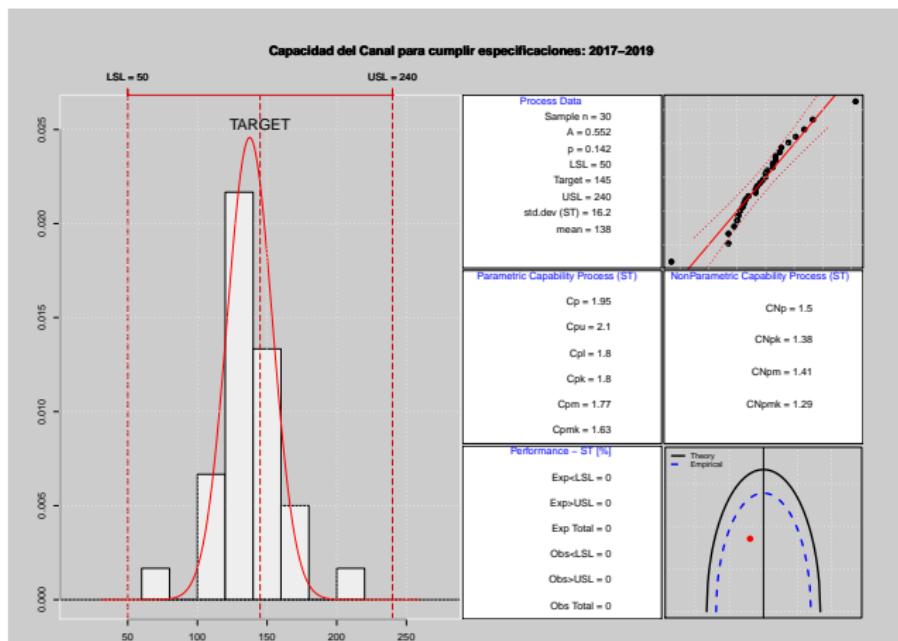
# Análisis de capacidad tiempo tránsito Julio 2016

- $C_p > 1,33$ , pero  $C_{pk}$ ,  $C_{pm}$ ,  $pkm < 1,33$ . Proceso potencialmente capaz pero no en la realidad.
- Proceso descentrado (ver histograma, gráfico de capacidad).
- `qcs.ca(object,limits=c(lsl=-3,usl=3),target=NULL,  
std.dev=NULL,nsigmas=3,confidence=0.9973,plot=TRUE,main=NULL,...)`



# Análisis de capacidad tiempo tránsito 2017-2019

- $C_p, C_{pk}, C_{pm}, pkm > 1,33$ . Proceso capaz de cumplir especificaciones.
- Proceso centrado (ver histograma, gráfico de capacidad).
- Se identifica un patrón de aprendizaje de las instalaciones y pilotos que permite llegar a cumplir las especificaciones de Gerencia.



## Control de procesos multivariante: $T^2$

- $H_0 : \mu_i = \mu_0, \forall i$  vs  $H_1 : \mu_j \neq \mu_0$ , **¿sistema bajo control?** Para responder, se han desarrollado diferentes estadísticos.
- **$T^2$  de Hotelling:**

$$T_i^2 = n(\bar{\mathbf{x}}_i - \boldsymbol{\mu}_0)^\top \Sigma_0^{-1} (\bar{\mathbf{x}}_i - \boldsymbol{\mu}_0)$$

donde  $\bar{\mathbf{x}}_i = (\bar{x}_{i1}, \dots, \bar{x}_{ip})$  es el vector de medias (de observaciones para medidas individuales) para las  $p$  características en la  $i$ ésima submuestra.

- Si el proceso está bajo control ( $\mu_i = \mu_0$ ),  $\alpha$  es la probabilidad de que  $T_i^2$  supere el valor crítico  $\chi_{p,\alpha}^2$ . Si  $T_i^2 > \chi_{p,\alpha}^2$  tenemos una señal fuera de control.
- Para medidas individuales  $UCL = \frac{p(m+1)(n-1)}{m^2 - mp} F_{\alpha, p, m-p}$  y  $LCL = 0$ .

## Control de procesos multivariante: MEWMA, CUSUM

- Estadístico del **gráfico MCUSUM**:

$$G_i = \max \left\{ \left( G_{i-1} + a^\top (\mathbf{x}_i - \boldsymbol{\mu}_0) - 0,5D \right), 0 \right\},$$

donde  $\boldsymbol{\mu}_0$  es la media del proceso bajo control,  $\Sigma_0$  matriz de varianzas-covarianza,  $\boldsymbol{\mu}_1$  la media con el proceso fuera de control,

$D = \sqrt{(\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_0)^\top \Sigma_0^{-1} (\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_0)}$  es un parámetro de no centralidad, y  $a^\top = \frac{A}{D}$  con  $A = (\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_0)^\top \Sigma_0^{-1}$ .

- Señal de alarma cuando  $G_i > H$  (límite de control).
- **Estadístico MEWMA**: A partir de  $Z_i = \Lambda \bar{\mathbf{x}}_i + (I - \Lambda) Z_{i-1}$ ,

$$T_i^2 = Z_i^\top \Sigma_{Z_i}^{-1} Z_i,$$

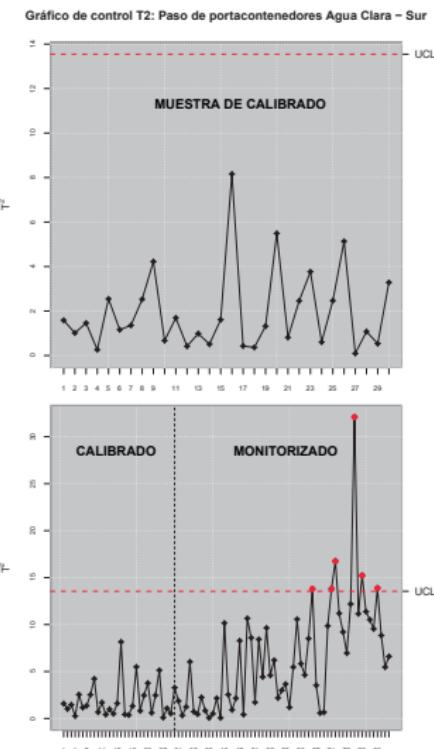
con  $\Sigma_{Z_i}^{-1}$  la inversa de la matriz de varianzas-covarianzas de  $Z_i$ .

- Señal fuera de control cuando  $T_i^2 > h$ , seleccionado según el ARL.

# Gráficos de control multivariante: $T^2$ de Hotelling

- FASE I (calibrado): Estimación límites de control.
- FASE II (monitorizado): ¿Pertenece cada nueva observación a la distribución de la muestra de calibrado?
- Hay un efecto aprendizaje: El proceso ha cambiado con respecto a la muestra de calibrado.
- Identificación proceso fuera de control en el tránsito del 36º buque (2018).

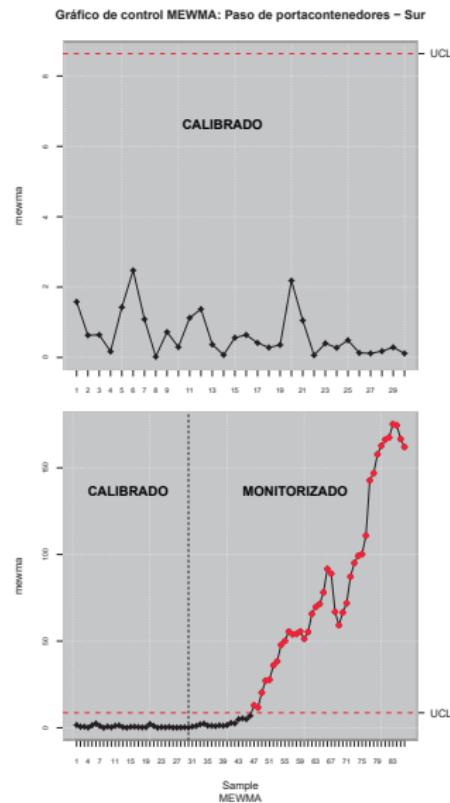
```
R> datos <-  
as.matrix(Panama.sur.cont[1:86,7:8])  
R> data.mqcd <- mqcd(datos)  
R> res.mqcs.mot <- mqcs.t2(data.mqcd,Xmv=Xmv,  
S=S, limits=res.mqcs$limits)
```



# Gráficos de control multivariante: MEWMA

- FASE I (calibrado): Estimación límites de control.
- FASE II (monitorizado): ¿Pertenece cada nueva observación a la distribución de la muestra de calibrado?
- Hay un efecto aprendizaje: El proceso ha cambiado con respecto a la muestra de calibrado.
- Identificación proceso fuera de control en el tránsito del 17º buque (finales 2016).

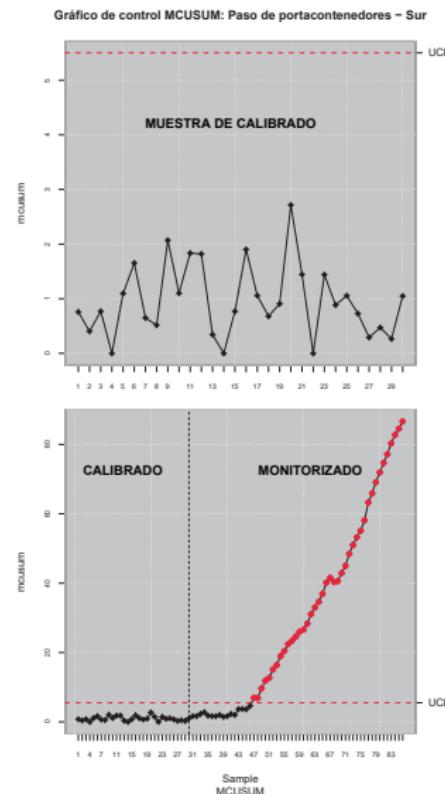
```
R> datos <-  
as.matrix(Panama.sur.cont[1:86,7:8])  
R> data.mqcd <- mqcd(datos)  
R> res.mqcs.mot <-  
mqcs.mewma(data.mqcd,Xmv=Xmv, S=S,  
limits=res.mqcs$limits)
```



# Gráficos de control multivariante: MCUSUM

- FASE I (calibrado): Estimación límites de control.
- FASE II (monitorizado): ¿Pertenece cada nueva observación a la distribución de la muestra de calibrado?
- Hay un efecto aprendizaje: El proceso ha cambiado con respecto a la muestra de calibrado.
- Identificación proceso fuera de control en el tránsito del 17º buque (finales 2016).

```
R> datos <-  
as.matrix(Panama.sur.cont[1:86,7:8])  
R> data.mqcd <- mqcd(datos)  
R> res.mqcs.mot <-  
mqcs.mcusum(data.mqcd,Xmv=Xmv, S=S,  
limits=res.mqcs$limits)
```



# Gráficos de control multivariantes no paramétricos

- Se basan en el concepto de profundidad de datos:
  - Simplicial depth (Liu, 1990),
  - Mahalanobis depth (Mahalanobis, 1936),
  - Halfspace or Tukey depth (Tukey, 1975),
  - Likelihood depth (Fraiman, 1997), y
  - Random projection depth (Zuo, 2000).
- **Estadístico de rangos**, alternativa a gráfico de medidas individuales:  $r_{G_m}(y) = \frac{\#\{D_{G_m}(Y_j) \leq D_{G_m}(y), j=1, \dots, m\}}{m}$
- **Estadístico Q**, alternativa a  $\bar{x}$ :  $Q(G_m, F_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{G_m}(X_i)$
- **Estadístico S**, alternativa al CUSUM:  
 $S_n(G_m) = \sum_{i=1}^n (r_{G_m}(X_i) - \frac{1}{2})$ . Siendo  $CL = 0$  y  
 $LCL = -Z_\alpha \sqrt{n^2 \frac{(\frac{1}{m} + \frac{1}{n})}{12}}$ .
- $y$ : nueva observación multivariante;  $Y_j$  con  $j = 1, \dots, m$ : muestra de calibrado;  $D_{G_m}(y)$ : profundidad de  $y$  con respecto a distribución de calibrado,  $G_m$ ;  $F_m$ : distribución de una muestra a monitorizar.

## Caso de estudio: Control de HVAC en tiendas (Panamá)

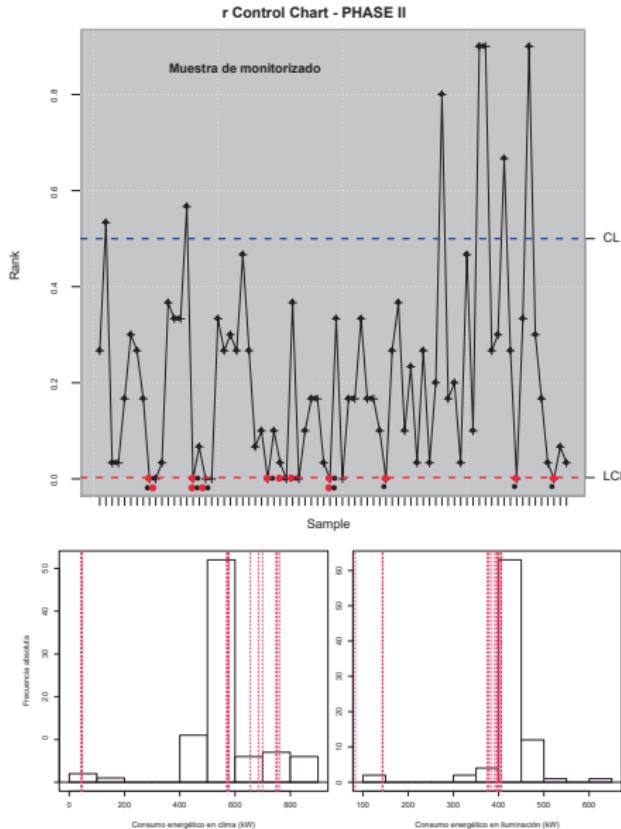
- Detección de anomalías.
- Dos variables CTQ: Consumos energéticos en climatización e iluminación (kW).
- Se miden los consumos diarios.



# Aplicación del control de rangos: Control HVAC

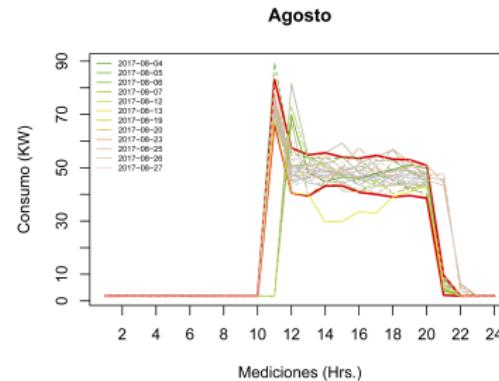
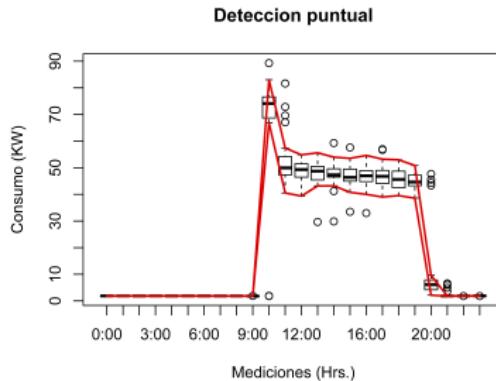
- Gráfico de FASE II.
- Dos variables: Consumo diario en climatización e iluminación de una tienda en Panamá.  
NO NORMALES, NO AUTOCORRELADAS.
- En sábado se abre 1h más que los lunes-viernes y 2h más que los domingos.
- Calibrado con lunes-viernes. Monitorizado incluyendo sábados y domingos.
- Alarmas: domingos (bajo consumo), averías y paradas, sábados (alto consumo).

```
R> x <- as.matrix(Shop[c(44:dim(Shop)[1]), c(3,8)])  
R> G <- as.matrix(Shop.week[c(1:30),c(3,8)])  
R> data.npqcd <- npqcd(x, G)  
R> res.npqcs <- npqcs.r(data.npqcd,  
method = "Tukey", alpha = 0.0028)  
R> plot(res.npqcs, title = r Control Chart")
```



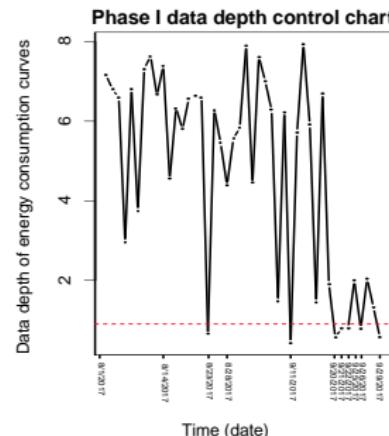
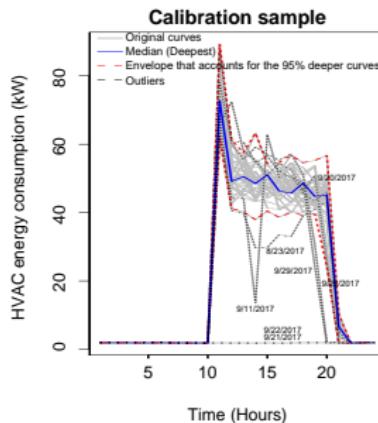
# Caso de estudio real: control HVAC en Panamá

- **11 de septiembre:** disminución en el consumo HVAC hacia la mitad del día. **21, 22 y 30 de septiembre:** se cerró el centro comercial. El 27 de septiembre: pruebas de mantenimiento en las instalaciones de la tienda. **29 de septiembre:** apagado antes de lo habitual. A partir del **19 de septiembre:** el aire acondicionado se apaga media hora antes, es decir, hay un cambio de regulación en el sistema HVAC.
- **Mediados de octubre:** una **fuga** en el circuito de **aire acondicionado**, el consumo de energía comenzó a subir.
- **El 1 de noviembre** se realizaron actividades de **reparación** ( $\downarrow$  consumo y se evitó el **pico de consumo inicial**). Entre el 17 y 20 de noviembre el consumo volvió a aumentar.



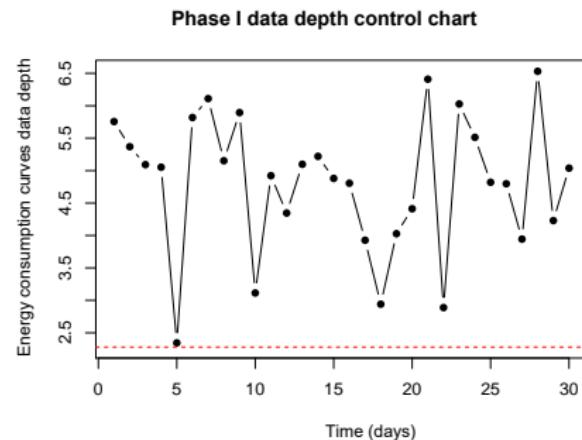
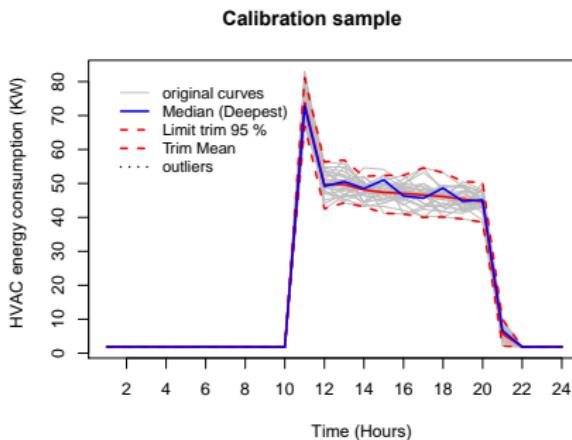
# Gráficos de control para datos funcionales · Fase I

- **FASE I:** Se propone un gráfico de control basado en la profundidad de datos. Con  $\{\mathcal{X}_1(t), \mathcal{X}_2(t), \dots, \mathcal{X}_n(t)\}$ , observaciones de una variable funcional  $\mathcal{X}$ , se contrasta la hipótesis:  $H_0 : \mathcal{X}_i(t) \stackrel{d}{=} \mathcal{X}_j(t), \forall i, j \in \{1, \dots, n\}$ , con respecto a  $H_a : \mathcal{X}_i(t) \stackrel{d}{\neq} \mathcal{X}_j(t)$ , para algún  $i, j \in \{1, \dots, n\}$
- Se calcula la profundidad de cada curva  $D(\mathcal{X}_i)_{i=1}^n$  utilizando la profundidad de Fraiman, moda y proyecciones aleatorias.
- El límite de control inferior (LCL) mediante un procedimiento bootstrap ponderado (Febrero et al, 2008).



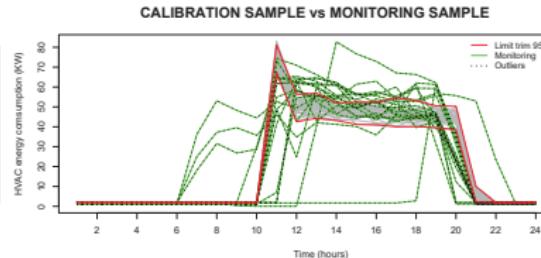
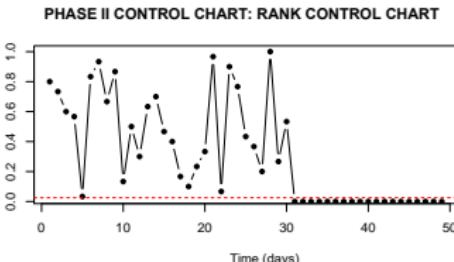
# Gráficos de control para datos funcionales · Fase I

- El límite de control inferior (LCL) mediante un procedimiento bootstrap recortado (Febrero et al, 2008).
- Se aplica un proceso iterativo para la detección de atípicos.
- Se aplica a la muestra retrospectiva (agosto y septiembre). Se detectan todas las anomalías. La representación de curvas reales ayuda a identificar la causa assignable de cada anomalía.



# Gráficos de control para datos funcionales · Fase II

- **FASE II:** Se monitorean futuras observaciones mediante gráficos de control de rangos que usan profundidades FDA.
- Se monitorea  $\{\mathcal{X}_{n+1}(t), \mathcal{X}_{n+2}(t), \dots, \mathcal{X}_m(t)\}$  con distribución  $G$ , teniendo en cuenta que la muestra de calibrado  $\{\mathcal{X}_1(t), \mathcal{X}_2(t), \dots, \mathcal{X}_n(t)\}$  se distribuye según  $F$ . Se contrasta  $H_0 : F = G$  vs  $H_1 : F \neq G$ .
- From  $\{\mathcal{X}_1(t), \mathcal{X}_2(t), \dots, \mathcal{X}_n(t)\}$ , the depths for calibration sample  $D(\mathcal{X}_i)_{i=1}^n$ , and for monitored sample,  $D(\mathcal{X}_j)_{j=n+1}^m$ , are obtained.
- Se calcula el estadístico rango  $r_G(\mathcal{X}_{n+1}), \dots, r_G(\mathcal{X}_m)$ , con la muestra de calibrado  $\{\mathcal{X}_1(t), \mathcal{X}_2(t), \dots, \mathcal{X}_n(t)\}$ :  $r_G(\mathcal{X}) = \frac{\#\{\mathcal{X}_i | D(\mathcal{X}_i) \leq D(\mathcal{X}), i=1, \dots, n\}}{n}$
- Gráfico de control: la línea central es  $CL=0.5$  y  $LCL=\alpha$ . The process is monitored. Si  $r_G(\mathcal{X}_j) \leq LCI$  para  $j$ , el proceso está fuera de control (anomalía). **Se muestran las curvas originales con la envolvente correspondiente al 99 % de las más profundas (calibrado).**



“

# Futuras funcionalidades para qcr

Detección de anomalías mediante aprendizaje máquina y bootstrap: LOCI.

Aproximaciones no paramétricas bootstrap de los estadísticos  $h$  y  $k$  de Mandel para la detección de laboratorios atípicos en estudios interlaboratorio.

Gráficos de control para datos multivariantes autocorrelados basados en la profundidad de datos y bootstrap estacionario.

“

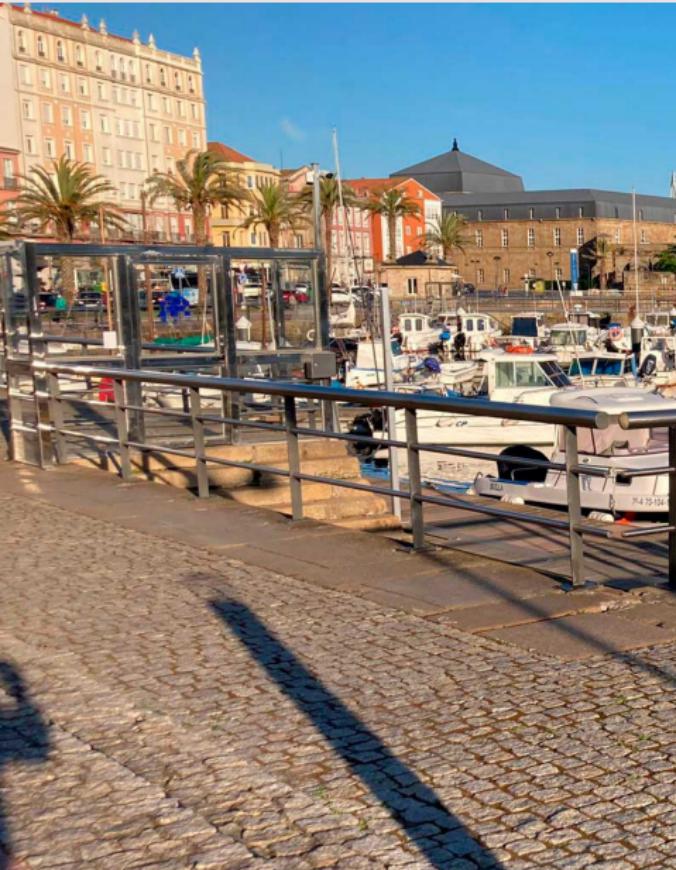
# Referencias

Flores, M., Fernández-Casal, R., Naya, S., & Tarrío-Saavedra, J. (2021). Statistical Quality Control with the qcr Package. **R Journal**, 13(1).

Flores, M., Naya, S., Fernández-Casal, R., Zaragoza, S., Raña, P., & Tarrío-Saavedra, J. (2020). Constructing a control chart using functional data. **Mathematics**, 8(1), 58.

Carral, L., Tarrío-Saavedra, J., Sáenz, A. V., Bogle, J., Alemán, G., & Naya, S. (2021). Modelling operative and routine learning curves in manoeuvres in locks and in transit in the expanded Panama Canal. **The Journal of Navigation**, 74(3), 633-655.

Flores, M., Moreno, G., Solórzano, C., Naya, S., & Tarrío-Saavedra, J. (2021). Robust bootstrapped Mandel'sh and k statistics for outlier detection in Interlaboratory Studies. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, 104429.



# Control estadístico de procesos mediante el paquete qcr

Salvador Naya, Javier Tarrío, Miguel Flores, Rubén Fernández

**VIII Xornada de Usuarios de R en Galicia**

Santiago de Compostela, 14/10/2021



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

