

Función ‘Incertidumbre.R’

Versión: 2025.01

G. Morales*

2025-12-28

Contenido

Alcance	2
Requisitos	2
Instrucciones	3
Referencias	5
Anexo 1: Resumen de resultados	6
Anexo 2: Código de la función	8

License GPL (≥ 2)

Copyright (C) 2025 G. Morales

This program is free software; you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation; either version 2 of the License, or (at your option) any later version.

This program is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program; if not, write to the Free Software Foundation, Inc., 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA.

*Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Regional Nariño. Centro Internacional de Producción Limpia Lope. Laboratorio de Análisis Fisicoquímico y Microbiológico. Calle 22 # 11E-05. Vía oriente. Pasto, Nariño. Colombia. ogmorales@sena.edu.co ; morales.b.gabriel@gmail.com ; <https://orcid.org/0000-0002-3596-0373>

Alcance

La función ‘Incertidumbre.R’ es aplicable para la estimación de incertidumbre de mediciones analíticas por los métodos de GUM, Kragten y Monte Carlo. Se fundamenta en el documento de Ellison, S. L. R., Williams, A. (2012) EURACHEM/CITAC Guide: Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. 3rd ed. Disponible en <http://www.eurachem.org>.

La función ha sido desarrollada en lenguaje de programación R con los paquetes: **metRology** y **nortest**, por lo que se requiere de su instalación previa para la correcta ejecución.

Es importante mencionar que la función no tiene en cuenta la correlación de variables en el método de Monte Carlo, lo que puede llevar a que la incertidumbre estimada por este método presente una gran diferencia respecto a las incertidumbres estimadas por los métodos de GUM y Kragten.

Requisitos

La función se ejecuta con el lenguaje de programación R y requiere de la previa instalación de los paquetes: **metRology** y **nortest**.

Para la instalación de los paquetes ejecutar:

```
install.packages("metRology")
```

```
install.packages("nortest")
```


Instrucciones

Para la estimación de incertidumbre de medición utilizando la función ‘Incertidumbre.R’, seguir estos pasos:

1. Activar los paquetes `metRology` y `nortest`:

```
#Activar paquetes
library(metRology)
library(nortest)
```

2. Definir el ‘Mensurando’ como una expresión matemática usando la función `expression`. Por ejemplo: para el mensurando y , definido según la función matemática $f(y) = a \cdot b + c$, ejecutar:

```
#Definir mensurando
Mensurando <- expression((a*b)+c)
```

3. Identificar las fuentes ‘x’, cuantificar las componentes como incertidumbres estándar ‘u’, asignar el tipo de distribución ‘d’ y los grados de libertad ‘df’, usando la función `list`. Para el ejemplo anterior, suponer:

```
#Fuentes de incertidumbre con su valor asignado
x <- list(a = 2, b =5, c=1)

#Incertidumbres estándar u(x)
u <- list(0.1, 0.5, 0.05)

#Distribución de las incertidumbres estándar u(x).
d <- list("unif", "norm", "norm")

#Nota: Según el tipo de evaluación (tipo A o tipo B), la distribución puede ser:
#normal = "norm",
#triangular = "tri",
#rectangular o uniforme = "unif"
#distribución t = "t".

#Grados de libertad de las incertidumbres estándar u(x).
df <- list(Inf, 9, 7)

#Nota: Para las evaluaciones tipo B, df = Inf
```

4. Definir la correlación de variables. Si existe correlación de variables, se crea la matriz ‘u.cor’ usando las funciones `diag` y `dimnames`. Para el ejemplo, suponer que las variables a y b se encuentran correlacionadas y su correlación es igual a 0.5:

```
#Crear la matriz de correlacion de variables
u.cor <- u.cor <- diag(1, length(names(x)))
dimnames(u.cor) <- list(names(x),names(x))

#Correlacion de variables
u.cor["a","b"] <- u.cor["b","a"] <- 0.5
```

La correlación de variables se encuentran entre -1 y 1. Si no existe una correlación, el valor es 0.

Además, si no existe correlación entre las variables, no es necesario crear la matriz ‘u.cor’.

Como se mencionó en el alcance, ‘Incertidumbre.R’ no tiene en cuenta la correlación de variables para la estimación de incertidumbre por el método de Monte Carlo. Esto puede significar una limitación, ya que puede llevar a que la incertidumbre estimada por este método presente una gran diferencia respecto a las incertidumbres estimadas por los métodos de GUM y Kragten.

5. Activar de la función `Incertidumbre` desde el archivo: `'Incertidumbre.R'`:

```
#Activar la función  
source("Incertidumbre.R")
```

Tener en cuenta, que la anterior línea de código funciona correctamente solo si la función se encuentra dentro del directorio de trabajo (ejemplo: `setwd("~/Documentos/IR.2025.01")`). De lo contrario, usar la dirección de ubicación de la función dentro de `source`, por ejemplo:

```
#Activar la función desde una ubicación diferente al directorio de trabajo  
source("~/Direccion_de_la_carpeta/IR.2025.01/Incertidumbre.R")
```

6. Ejecutar la función `Incertidumbre`:

```
#Ejecutar la función  
Incertidumbre(Mensurando, x, u, d, df, u.cor)
```

Si no existe correlación de variables, no es necesario crear la matriz `'u.cor'`, por lo que se puede obviar en la ejecución de la función, es decir:

```
#Ejecutar la función sin matriz de correlación  
Incertidumbre(Mensurando, x, u, d, df)
```

7. El resumen de la estimación de incertidumbre se presenta en la consola de R. Además, en el directorio de trabajo, se crea la carpeta `'~/Resultados'` con los archivos: `'Informe.txt'` y `'Grafico.jpg'`, correspondientes a un informe detallado de la estimación de incertidumbre.

Ver Anexo: Resumen de resultados.

También se recomienda ver el ejemplo de aplicación: `'Ejemplo.R'`

Referencias

Ellison, S. L. R. y Williams, A. (2012). Eurachem/CITAC guide: Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, 3rd ed. Disponible en <http://www.eurachem.org>

Ellison, S. L. R. (2025). metRology: Support for Metrological Applications. (Version 0.9-29-2) [Paquete de software]. R project. Disponible en <http://CRAN.R-project.org/package=metRology>

Gross, J. y Ligges, U. (2015). nortest: Tests for Normality. (Version 1.0-4) [Paquete de software]. R project. Disponible en <https://CRAN.R-project.org/package=nortest>

R Core Team (2025). R: A language and environment for statistical computing. Version 4.5.2. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <https://www.R-project.org/>

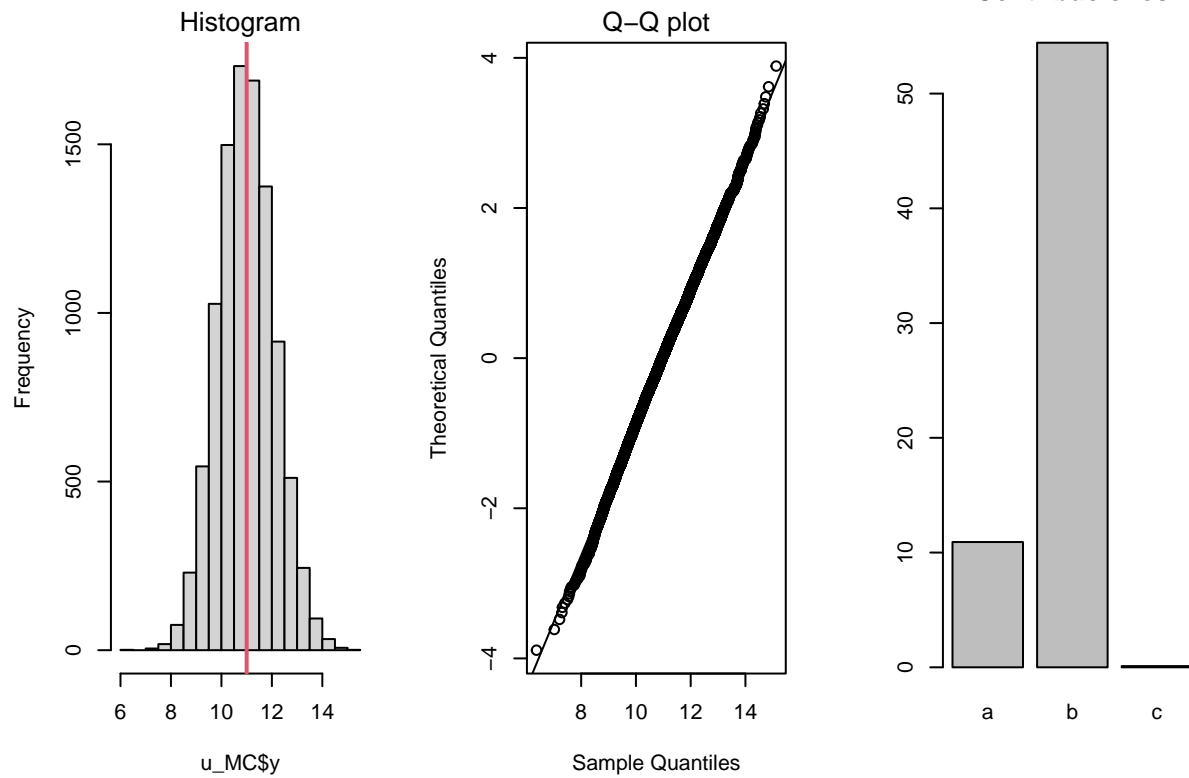
Anexo 1: Resumen de resultados

```
##
## Incertidumbre.R
## Versión: 2025.01
##
## Resumen de la estimación de incertidumbre
##
## Número: 20251228180303
## Fecha: Sun Dec 28 18:03:03 2025
##
## Mensurando (y) = expression((a * b) + c)
##
## Datos
##   x u.x distribución df
## a 2 0.10          unif Inf
## b 5 0.50          norm  9
## c 1 0.05          norm  7
##
## Correlaciones
##      a   b c
## a 1.0 0.5 0
## b 0.5 1.0 0
## c 0.0 0.0 1
##
## Advertencia: La función no tiene en cuenta la correlación de variables
##              para la estimación de incertidumbre por el método de Monte Carlo.
##
## Resultados
##      Método y      u.y      k      U
## 1      GUM 11 1.32382 2.14 2.839312
## 2      Kragten 11 1.32382 2.14 2.839312
## 3 Monte Carlo 11 1.11172 2.14 2.384403
##
## U = (k * u.y)
##
## En donde: 'k' es el factor de cobertura, asumiendo
##            una distribución t de dos colas con un nivel de confianza del 95 % y
##            14 grados de libertad efectivos, y 'u.y' es la incertidumbre combinada.
##
## El método de Monte Carlo usa 10 000 de iteraciones. Tener en cuenta
##            la normalidad y asimetría de la simulación:
##
## Anderson-Darling, p-valor: 0.0001021905
## Coeficiente de asimetría de Pearson: 0.067
##
## Si la simulación no se ajusta a un modelo normal, reportar la mediana y un
##            intervalo de cobertura del 95 %.
##
## Mediana: 10.96065 [ 8.862595 , 13.19613 ]
##
## Ver gráficos de la estimación por el método de Monte Carlo
##
## Dentro del directorio de trabajo, se ha creado la carpeta '~/Resultados' con
```



```
## los archivos: 'Informe.txt' y 'Grafico.jpg', correspondientes a un informe
## detallado de la estimación de incertidumbre.
##
## Fin del resumen
```

Simulación de Monte Carlo



Anexo 2: Código de la función

```
####Función 'Incertidumbre.R'####

#Versión: 2025.01
#Fecha: 2025-12-28
#Autor: G. Morales
#E.mail: <ogmorales@sena.edu.co>; <morales.b.gabriel@gmail.com>
#Dir: Calle 22 # 11E-05. Vía oriente. Pasto, Nariño. Colombia.
#Licencia GPL (>=2)

## Requerimientos ####

#La función requiere de los paquetes: "metRology" y "nortest".
#Se recomienda revisar el archivo: 'Instrucciones.pdf'.

## Estructura de la función ####

Incertidumbre <- function(Mensurando, x, u, d, df, u.cor = NULL){
  if (is.null(u.cor)){
    u.cor <- diag(1, length(names(x)))
    dimnames(u.cor) <- list(names(x),names(x))
  }

  ### Métodos de estimación de incertidumbre ####

  u_GUM <- uncert(Mensurando, x, u, method = "GUM", cor = u.cor)

  u_Kragten <- uncert(Mensurando, x, u, method="kragten", cor = u.cor)

  set.seed(1)
  u_MC <-uncertMC(Mensurando, x, u, df, method="MC", distrib = d, B = 10000)

  ### Grados de libertad efectivos y factor de cobertura ####
  #Según Welch-Satterthwaite

  #coeficientes de sensibilidad desde el método de Kragten
  ci = unlist(u_GUM$budget$c)

  #Grados de libertad efectivos
  df_eff <- round(w.s(unlist(u), unlist(df), ci=ci,
                    uc=sqrt(sum((ci*unlist(u))^2))),0)

  #t crítico con nivel de confianza del 95% para dos colas
  # (t = k, factor de cobertura)
  t95 <-qt(0.975,df_eff)

  ### Normalidad y asimetría #####
  #Aplica para el método de Monte Carlo

  #Prueba de normalidad: Anderson-Darling
  Anderson <- ad.test(u_MC$MC$y)

  #Coeficiente de asimetría de Pearson
```



```

Pearson <- round((3*(mean(u_MC$MC$y)-median(u_MC$MC$y))/sd(u_MC$MC$y),3)

### Resultados ###

# Tablas
Datos <- data.frame("x" = unlist(x),
                    "u.x" = unlist(u),
                    "distribución" = unlist(d),
                    "df" = unlist(df))

#En donde,
# x      : Valor de la variable,
# u.x    : Incertidumbre estándar,
# Distribución : Distribución de u.x,
# df     : Grados de libertad de u.x.

Resumen <- data.frame("Método" = c("GUM", "Kragten", "Monte Carlo"),
                      "y" = c(u_GUM$y, u_Kragten$y, u_MC$y),
                      "u.y" = c(u_GUM$u.y, u_Kragten$u.y, u_MC$u.y),
                      "k" = round(c(t95, t95),2),
                      "U" = c(t95*u_GUM$u.y, t95*u_Kragten$u.y, t95*u_MC$u.y))

#En donde,
# y      : Valor del mensurando,
# u.y    : Incertidumbre estándar combinada,
# k      : Factor de cobertura (nivel de confianza de 95% y df efectivos),
# U      : Incertidumbre expandida U = k*u.y.

Mediana <- median(u_MC$MC$y)
Q1 <- quantile(u_MC$MC$y, c(0.025))
Q3 <- quantile(u_MC$MC$y, c(0.975))

#### Resumen ####

#Resumen en la consola
cat("\nIncertidumbre.R","\nVersión: 2025.01",
    "\n\nResumen de la estimación de incertidumbre\n")
cat(c("\nNúmero: ", format(Sys.time(), "%Y%m%d%H%M%S")))
cat(c("\nFecha:", date()))
cat("\n\nMensurando (y) = ")
print(Mensurando)
cat("\nDatos\n")
print(Datos)
cat("\nCorrelaciones\n")
print(u.cor)
cat("\nAdvertencia: La función no tiene en cuenta la correlación de variables
para la estimación de incertidumbre por el método de Monte Carlo.\n",
    "\nResultados\n")
print(Resumen)
cat("\nU = (k * u.y)"," \n\nEn donde: 'k' es el factor de cobertura, asumiendo
una distribución t de dos colas con un nivel de confianza del 95 % y\n",
    "(df_eff), \"grados de libertad efectivos, y 'u.y' es la incertidumbre combinada.\",
    "\n\nEl método de Monte Carlo usa 10 000 de iteraciones. Tener en cuenta
la normalidad y asimetría de la simulación:",

```



```

"\n\nAnderso-Darling, p-valor: ", (Anderson$p.value),
"\nCoeficiente de asimetría de Pearson:",(Pearson),
"\n\nSi la simulación no se ajusta a un modelo normal, reportar la mediana y un
intervalo de cobertura del 95 %.", "\n\nMediana: ", Mediana,"[",(Q1),",",(Q3),"]",
"\n\nVer gráficos de la estimación por el método de Monte Carlo\n",
"\nDentro del directorio de trabajo, se ha creado la carpeta '~/Resultados' con
los archivos: 'Informe.txt' y 'Grafico.jpg', correspondientes a un informe
detallado de la estimación de incertidumbre.\n\nFin del resumen\n\n")

#Gráficos
par(mfcol=c(1,3))
plot.uncertMC(u_MC, main = "Simulación de Monte Carlo")
barplot(-drop1.uncertMC(u_MC),main = "Contribuciones")
par(mfcol=c(1,1)) #los gráficos aparecen en pantalla

#### Informe ####

#Detectar archivo de la función
ruta_script <- tryCatch(normalizePath(sys.frames()[[1]]$ofile),
                        error = function(e) NULL)
ruta_base <- if (is.null(ruta_script)) getwd() else dirname(ruta_script)

#Carpeta '/Resultados' dentro de la carpeta base
ruta <- file.path(ruta_base, "Resultados")

#Se crea la carpeta si no existe
dir.create(ruta, recursive = TRUE, showWarnings = FALSE)

#Nombres de archivo
tiempo <- format(Sys.time(), "%Y%m%d%H%M%S")
archivo_txt <- file.path(ruta, paste0("Informe_", tiempo, ".txt"))
archivo_jpg <- file.path(ruta, paste0("Grafico_", tiempo, ".jpg"))

#Se exporta resultados a un archivo 'Informe.txt'
capture.output({
  cat("Incertidumbre.R","\nVersión: 2025.01\n")
  cat("\n===INFORME DE LA ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE===\n\n")
  cat(c("Informe número: ", format(Sys.time(), "%Y%m%d%H%M%S")))
  cat(c("\nFecha:", date()),"\n\n")
  cat("Resumen de resultados\n\n")
  cat("Mensurando (y) = ")
  print(Mensurando)
  cat("\nDatos\n")
  print(Datos)
  cat("\nCorrelaciones\n")
  print(u.cor)
  cat("\nAdvertencia: La función no tiene en cuenta la correlación de
variables para la estimación de incertidumbre por el método de Monte Carlo.\n")
  cat("\nIncertidumbre de medición\n\n")
  print(Resumen)
  cat("\nU = (k * u.y)",""\n\nEn donde: 'k' es el factor de cobertura, asumiendo
una distribución t de dos colas con un nivel de confianza del 95 % y\n",
(df_eff), "grados de libertad efectivos, y 'u.y' es la incertidumbre combinada.",

```



```

"\n\nEl método de Monte Carlo usa 10 000 de iteraciones. Tener en cuenta
la normalidad y asimetría de la simulación:",
"\n\nAnderso-Darling, p-valor: ", (Anderson$p.value),
"\n\nCoeficiente de asimetría de Pearson:",(Pearson),
"\n\nSi la simulación no se ajusta a un modelo normal, reportar la mediana y un
intervalo de cobertura del 95 %.", "\n\nMediana: ", Mediana,"[",(Q1),",",(Q3),"]",
"\n\nVer gráficos de la estimación por el método de Monte Carlo\n")
  cat("\nResultados detallados\n")
  print(list(u_GUM, u_Kragten, u_MC))
  print(Anderson)
  print(c("Coeficiente de asimetría de Pearson:",Pearson))
  cat("\nFin del informe")
}, file = archivo_txt) #Se crea un archivo: 'Informe.txt'

#Se exporta gráficos a un archivo 'Grafico.jpg'
jpeg(archivo_jpg, width = 1200, height = 400, quality = 100)
par(mfcol=c(1,3))
plot.uncertMC(u_MC, main = "Simulación de Monte Carlo")
barplot(-drop1.uncertMC(u_MC),main = "Contribuciones")
par(mfcol=c(1,1)) #Se crea un archivo: 'Grafico.jpg'
dev.off()
}

#Fin de la función

```