

# Algoritmo genético para selección de predictores

Joaquín Amat Rodrigo [j.amatrodrigo@gmail.com](mailto:j.amatrodrigo@gmail.com)

Noviembre, 2018

## Tabla de contenidos

Introducción.....	2
Algoritmo.....	2
Población inicial .....	3
Fitness de un individuo .....	5
Fitness de todos los individuos de una población.....	8
Seleccionar individuos .....	11
Cruzar dos individuos ( <i>crossover</i> , recombinación) .....	13
Mutar individuo .....	15
Algoritmo completo .....	16
Ejemplo regresión.....	21
Simulación de datos .....	21
Selección de predictores .....	23
Mejor individuo .....	29
Evolución del error .....	30
Frecuencia selección variables .....	31
Ejemplo clasificación.....	34
Datos .....	34
Selección de predictores .....	34
Mejor individuo .....	35
Evolución del error .....	35
Frecuencia selección variables .....	36
Paralelización.....	38
Versión paralelizada .....	38
Comparación .....	44
Bibliografía.....	46

## Introducción

Los algoritmos genéticos son métodos de optimización heurística que, entre otras aplicaciones, pueden emplearse para encontrar la combinación de variables que consigue maximizar la capacidad predictiva de un modelo. Su funcionamiento está inspirado en la [teoría evolutiva de selección natural](#) propuesta por Darwin y Alfred Russel: los individuos de una población se reproducen generando nuevos descendientes, cuyas características, son combinación de las características de los progenitores (más ciertas mutaciones). De todos ellos, únicamente los mejores individuos sobreviven y pueden reproducirse de nuevo, transmitiendo así sus características a las siguientes generaciones.

Los algoritmos genéticos son solo una de las muchas estrategias que existen para seleccionar los predictores más relevantes, y no tiene por qué ser la más adecuada en todos los escenarios. Por ejemplo, existen estrategias iterativas [Stepwise selection](#), modelos como [Random Forest](#), [Boosting](#) y [Lasso](#) capaces de excluir automáticamente predictores, y técnicas de reducción de dimensionalidad como [PCA](#) y [t-SNE](#).

La implementación de algoritmo genético que se muestra en este documento pretende ser lo más explicativa posible aunque para ello no sea la más eficiente.

## Algoritmo

Aunque existen variaciones, algunas de las cuales se describen a lo largo de este documento, en términos generales, la estructura de un algoritmo genético para la selección de predictores sigue los siguientes pasos:

- 
1. Crear una población inicial aleatoria de  $P$  individuos. En este caso, cada individuo representa una combinación de predictores.
  2. Calcular la fortaleza (*fitness*) de cada individuo de la población.
  3. Crear una nueva población vacía y repetir los siguientes pasos hasta que se hayan creado  $P$  nuevos individuos.
    - 3.1 Seleccionar dos individuos de la población existente, donde la probabilidad de selección es proporcional al *fitness* de los individuos.

- 3.2 Cruzar los dos individuos seleccionados para generar un nuevo descendiente (*crossover*).
- 3.3 Aplicar un proceso de mutación aleatorio sobre el nuevo individuo.
- 3.4 Añadir el nuevo individuo a la nueva población.
4. Reemplazar la antigua población por la nueva.
5. Si no se cumple un criterio de parada, volver al paso 2.

En los siguientes apartados se describe cada una de las etapas del proceso para, finalmente, combinarlas todas en una única función.

## Población inicial

En el contexto de algoritmos genéticos, el término individuo hace referencia a cada una de las posibles soluciones del problema que se quiere optimizar. En el caso particular de la selección de mejores predictores, cada individuo representa una posible combinación de variables. Para representar dichas combinaciones, se pueden emplear vectores binarios, cuya longitud es igual al número total de predictores disponibles, y cada posición toma el valor TRUE/FALSE dependiendo de si el predictor que ocupa esa posición se incluye o excluye. También es común encontrar la representación en términos 0/1.

Por ejemplo, supóngase que las variables disponibles son:  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$  y  $X_5$ . El individuo *TRUE, FALSE, TRUE, TRUE, FALSE*, o su equivalente codificación 1,0,1,1,0 representa la selección de los predictores  $X_1$ ,  $X_3$ , y  $X_4$ .

El primer paso del algoritmo genético para la selección de predictores consiste en crear una población inicial aleatoria de individuos. La siguiente función crea una matriz binaria en la que, cada fila, está formada una combinación aleatoria de valores TRUE y FALSE. Además, el número máximo y mínimo de TRUEs por fila puede estar acotado. Esta acotación resulta útil cuando se quiere limitar, en cierta medida, el número de predictores que pueden incluir los individuos. Es en cierta medida porque, debido a los cruces y mutaciones a lo largo de las generaciones, se pueden crear individuos que excedan los límites iniciales.

```

crear_poblacion <- function(n_poblacion, n_variables, n_max = NULL, n_min = NULL,
                           verbose = TRUE){
  # Argumentos:
  #   n_poblacion: número total de individuos de la población.
  #   n_variables: longitud de los individuos.
  #   n_max:      número máximo de TRUEs que puede contener un individuo.
  #   n_min:      número mínimo de TRUEs que puede contener un individuo.
  #   verbose:    mostrar información del proceso por pantalla.

  # Retorno: una matriz de tamaño n_poblacion x n_variables que representa
  #          una población.

  # Si no se especifica n_max, el número máximo de predictores (TRUEs) que puede
  # contener un individuo es igual al número total de variables disponibles.
  if(is.null(n_max)){
    n_max <- n_variables
  }
  # Si no se especifica n_min, el número mínimo de predictores (TRUEs) que puede
  # contener un individuo es 1.
  if(is.null(n_min)){
    n_min <- 1
  }
  # Matriz donde almacenar los individuos generados.
  poblacion <- matrix(data = NA, nrow = n_poblacion, ncol = n_variables)

  # Bucle para crear cada individuo.
  for(i in 1:n_poblacion){
    # Se selecciona (con igual probabilidad) el número de valores = TRUE que puede
    # tener el individuo, dentro del rango acotado por n_min y n_max.
    n_true <- sample(x = n_min:n_max, size = 1)

    # Se crea un vector con todo FALSE que representa el individuo.
    individuo <- rep(FALSE, times = n_variables)

    # Se sustituyen (n_true) posiciones aleatorias por valores TRUE.
    individuo[sample(x = 1:n_variables, size = n_true)] <- TRUE

    # Se añade el nuevo individuo a la población.
    poblacion[i,] <- individuo
  }
  if(verbose){
    print("Población inicial creada")
    print(paste("Número de individuos =", n_poblacion))
    print(paste("Número de predictores mínimo por individuo =", n_min))
    print(paste("Número de predictores máximo por individuo =", n_max))
    cat("\n")
  }
  return(poblacion)
}

```

**Ejemplo:** se crea una población de 10 individuos de longitud 8, con un número de valores TRUE acotado entre 1 y 5.

```
crear_poblacion(n_poblacion = 10,
               n_variables = 8,
               n_max = 5,
               n_min = 1,
               verbose = TRUE)
```

```
## [1] "Población inicial creada"
## [1] "Número de individuos = 10"
## [1] "Número de predictores mínimo por individuo = 1"
## [1] "Número de predictores máximo por individuo = 5"

##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8]
## [1,] FALSE TRUE  FALSE FALSE TRUE  TRUE TRUE  FALSE
## [2,] FALSE FALSE TRUE  TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE
## [3,] TRUE  FALSE TRUE  FALSE TRUE  FALSE FALSE TRUE
## [4,] TRUE  TRUE  FALSE TRUE  FALSE TRUE  FALSE TRUE
## [5,] TRUE  FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
## [6,] TRUE  TRUE  FALSE TRUE  FALSE FALSE TRUE  FALSE
## [7,] FALSE FALSE FALSE TRUE  TRUE  FALSE TRUE  FALSE
## [8,] FALSE FALSE FALSE TRUE  TRUE  FALSE TRUE  TRUE
## [9,] FALSE FALSE TRUE  TRUE  FALSE FALSE TRUE  TRUE
## [10,] FALSE FALSE TRUE  FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
```

## Fitness de un individuo

Cada individuo de la población debe ser evaluado para cuantificar su fortaleza (*fitness*). Dado que, en este caso, el objetivo es encontrar la combinación de predictores que da lugar al mejor modelo, el *fitness* de un individuo se calcula con una métrica de calidad del modelo. Dependiendo de la métrica, la relación con el *fitness* puede ser:

- Error del modelo: si se emplea una métrica de error, el individuo tiene mayor *fitness* cuanto menor sea el error.
- *Accuracy*, precisión, *recall*...: con este tipo de métricas, el individuo tiene mayor *fitness* cuanto mayor sea la métrica.

Para conseguir que, independientemente de la métrica, cuanto mayor sea su valor, mayor el *fitness* del individuo, se puede utilizar el  $-(error)$ . De esta forma, la estrategia de selección es la misma. Es importante recordar que, en el caso del  $-(error)$ , el intervalo de valores posibles es  $-\infty$  a 0. Además, para que las estimaciones sean robustas y evitar el *overfitting*, es muy

importante recurrir a estrategias de validación cruzada o *bootstrapping* en la cuantificación del *fitness*.

En este ejemplo, se presentan dos opciones de modelos de evaluación: un modelo lineal por mínimos cuadrados y un *random forest*. El modelo lineal solo puede utilizarse para problemas de regresión y emplea la métrica *MSE* como indicativo de *fitness*. El *random forest* puede utilizarse para problemas de regresión, en cuyo caso emplea la métrica *MSE*, y clasificación, en cuyo caso emplea el *Accuracy*.

### Versión con random forest

```
calcular_fitness_individuo_rf <- function(x, y, cv, seed=123, verbose=TRUE,...){
  # Argumentos
  # x:      matriz de predictores.
  # y:      variable respuesta.
  # cv:     número de particiones de validación cruzada.
  # seed:   semilla para garantizar reproducibilidad en el proceso de CV.
  # verbose: mostrar información del proceso por pantalla.

  # Retorno:
  # fitness del individuo obtenido por validación cruzada empleando random forest
  # como modelo.

  # Repartición de las observaciones para la validación cruzada (CV).
  set.seed(seed)
  indices_cv <- sample(x = 1:cv, size = nrow(x), replace = TRUE)

  # Vector para almacenar el fitness de cada iteración CV.
  fitness_cv <- rep(NA, times = cv)

  for(i in 1:cv){
    set.seed(seed)
    modelo <- randomForest::randomForest(x = x[indices_cv != i, , drop = FALSE],
                                          y = y[indices_cv != i],
                                          ntree = 100)
    predicciones <- predict(modelo, newdata = x[indices_cv == i, , drop = FALSE])

    if(is.numeric(y)){
      # Si y es numérico (regresión), el fitness es igual al -MSE.
      residuos <- predicciones - y[indices_cv == i]
      fitness_cv[i] <- -(mean(residuos^2))
    }else{
      # Si y es factor (clasificación), el fitness es igual al Accuracy.
      accuracy <- mean(predicciones == y[indices_cv == i])
      fitness_cv[i] <- accuracy
    }
  }
}
```

```

if(verbose){
  print(paste("El fitness calculado por CV =", cv, "es de:", mean(fitness_cv)))
  cat("\n")
}
return(mean(fitness_cv))
}

```

### Versión con modelo lineal

```

calcular_fitness_individuo_lm <- function(x, y, cv, seed=123, verbose=TRUE, ...){
  # Argumentos
  # x:      matriz de predictores.
  # y:      variable respuesta.
  # cv:     número de particiones de validación cruzada.
  # seed:   semilla para garantizar reproducibilidad en el proceso de CV.
  # verbose: mostrar información del proceso por pantalla.

  # Retorno:
  # fitness del individuo obtenido por validación cruzada empleando MSE como
  # métrica y regresión lineal como tipo de modelo.

  # Repartición de las observaciones para la validación cruzada (CV).
  set.seed(seed)
  indices_cv <- sample(x = 1:cv, size = nrow(x), replace = TRUE)

  # Vector para almacenar el fitness de cada iteración CV.
  fitness_cv <- rep(NA, times = cv)
  for(i in 1:cv){
    set.seed(seed)
    datos_modelo <- as.data.frame(cbind(x[indices_cv != i, , drop = FALSE],
                                         y = y[indices_cv != i])
                                )
    modelo <- lm(formula = y~.,
                 data = datos_modelo)

    predicciones <- predict(modelo,
                            newdata = as.data.frame(
                              x[indices_cv == i, , drop = FALSE])
                            )
    residuos <- predicciones - y[indices_cv == i]
    fitness_cv[i] <- -(mean(residuos^2))
  }
  if(verbose){
    print(paste("El fitness calculado por CV =", cv, "es de:", mean(fitness_cv)))
    cat("\n")
  }
  return(mean(fitness_cv))
}

```

**Ejemplo:** Se calcula el *fitness* de un individuo que incluye 10 predictores simulados.

```
set.seed(123)
predictores <- matrix(data = rnorm(n = 1000), nrow = 100, ncol = 10)
var_respuesta <- rnorm(n = 100)
calcular_fitness_individuo_rf(x = predictores,
                             y = var_respuesta,
                             cv = 5,
                             seed = 123,
                             verbose = TRUE)
```

```
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -1.2154377565129"
```

```
## [1] -1.215438
```

```
calcular_fitness_individuo_lm(x = predictores,
                              y = var_respuesta,
                              cv = 5,
                              seed = 123,
                              verbose = TRUE)
```

```
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -1.32359842761727"
```

```
## [1] -1.323598
```

## Fitness de todos los individuos de una población

Esta función recibe como argumentos una población de individuos, una matriz de predictores, un vector con la variable respuesta, y devuelve el *fitness* de cada individuo.

```
calcular_fitness_poblacion <- function(poblacion, x , y, cv, seed = 123,
                                      modelo = "rf", verbose = TRUE){
  # Argumentos
  # poblacion: matriz que representa la población de individuos.
  # x:        matriz de predictores.
  # y:        variable respuesta.
  # cv:       número de particiones de validación cruzada.
  # seed:     semilla para garantizar reproducibilidad en el proceso de CV.
  # verbose:  mostrar información del proceso por pantalla.
  # modelo:   tipo de modelo empleado para calcular el fitness. Puede ser
  #           lm o rf.
  # Retorno:
  # vector con el fitness de todos los individuos de la población, obtenido por
  # validación cruzada. El orden de los valores se corresponde con el orden de
  # las filas de la matriz población.
```



```

# Vector donde almacenar el fitness de cada individuo.
fitness_poblacion <- rep(NA, times = nrow(poblacion))

# Tipo de modelo utilizado para calcular el fitness.
if(modelo == "lm"){
  calcular_fitness_individuo <- calcular_fitness_individuo_lm
}else if(modelo == "rf"){
  calcular_fitness_individuo <- calcular_fitness_individuo_rf
}else{
  stop(paste("El modelo empleado para calcular el fitness debe ser",
             "lm (linear model)", "o rf (randomforest)."))
}

for (i in 1:nrow(poblacion)) {
  individuo <- poblacion[i, ]

  if(verbose){
    print(paste("Individuo", i, ":", paste(individuo, collapse = " ")))
  }

  fitness_individuo <- calcular_fitness_individuo(
    x = x[,individuo, drop = FALSE],
    y = y,
    cv = cv,
    seed = seed,
    verbose = verbose
  )
  fitness_poblacion[i] <- fitness_individuo
}

if(verbose){
  print(paste("Fitness calculado para los",
             nrow(poblacion) ,
             "individuos de la población."))
  print(paste("Modelo empleado para el cálculo del fitness:", modelo))
  metrica_fitness <- ifelse(test = is.numeric(y), "mse", "accuracy")
  print(paste("Métrica empleada para el cálculo del fitness:", metrica_fitness))
  cat("\n")
}
return(fitness_poblacion)
}

```

**Ejemplo:** Se calcula el *fitness* de todos los individuos de una población formada por 10 individuos de longitud 8, con un número de valores TRUE acotado entre 1 y 5.

```
# Población simulada
poblacion <- crear_poblacion(n_poblacion = 10,
                           n_variables = 8,
                           n_max = 5,
                           n_min = 1,
                           verbose = TRUE)

## [1] "Población inicial creada"
## [1] "Número de individuos = 10"
## [1] "Número de predictores mínimo por individuo = 1"
## [1] "Número de predictores máximo por individuo = 5"

# Datos simulados
predictores <- matrix(data = rnorm(n = 1000), nrow = 100, ncol = 10)
var_respuesta <- rnorm(n = 100)

# Cálculo del fitness de todos los individuos
fitness_poblacion <- calcular_fitness_poblacion(poblacion = poblacion,
                                                x = predictores,
                                                y = var_respuesta,
                                                modelo = "lm",
                                                cv = 5,
                                                seed = 123,
                                                verbose = TRUE)

## [1] "Individuo 1 : FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -1.33112329251321"
##
## [1] "Individuo 2 : TRUE FALSE TRUE TRUE TRUE FALSE FALSE TRUE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -1.23369791906619"
##
## [1] "Individuo 3 : FALSE FALSE FALSE TRUE TRUE FALSE FALSE TRUE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -1.20899906906925"
##
## [1] "Individuo 4 : TRUE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -1.31140582120689"
##
## [1] "Individuo 5 : FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -1.30135564112265"
##
## [1] "Individuo 6 : FALSE FALSE TRUE TRUE TRUE FALSE TRUE TRUE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -1.2834350546162"
##
## [1] "Individuo 7 : TRUE TRUE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE TRUE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -1.22917588425381"
##
## [1] "Individuo 8 : TRUE TRUE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE TRUE"
```

```
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -1.24781250586997"
##
## [1] "Individuo 9 : TRUE TRUE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -1.29704039773951"
##
## [1] "Individuo 10 : TRUE FALSE TRUE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -1.30145023146265"
##
## [1] "Fitness calculado para los 10 individuos de la población."
## [1] "Modelo empleado para el cálculo del fitness: lm"
```

fitness_poblacion
-------------------

```
## [1] -1.331123 -1.233698 -1.208999 -1.311406 -1.301356 -1.283435 -1.229176
## [8] -1.247813 -1.297040 -1.301450
```

El vector devuelto contiene el *fitness* de cada uno de los individuos en el mismo orden que se encuentran en la matriz de la población.

## Seleccionar individuos

La forma en que se seleccionan los individuos que participan en cada cruce difiere en las distintas implementaciones de los algoritmos genéticos. Por lo general, todas ellas tienden a favorecer la selección de aquellos individuos con mayor *fitness*. Algunas de las estrategias más comunes son:

- Método de ruleta: la probabilidad de que un individuo sea seleccionado es proporcional a su *fitness* relativo, es decir, a su *fitness* dividido por la suma del *fitness* de todos los individuos de la población. Si el *fitness* de un individuo es el doble que el de otro, también lo será la probabilidad de que sea seleccionado.
- Selección estocástica aleatoria: se selecciona cada individuo exactamente el número de veces que indica su *fitness* relativo.
- Selección competitiva (*tournament*): se seleccionan aleatoriamente dos individuos de la población (todos con la misma probabilidad) y se descarta el que tenga menor *fitness*.
- Selección truncada (*truncated selection*): se realizan selecciones aleatorias de individuos, habiendo descartado primero los  $n$  individuos con menor *fitness* de la población.

En este documento se emplea la estrategia de selección proporcional al *fitness* relativo (método ruleta).

La siguiente función recibe como argumento un vector con el *fitness* de cada individuo y selecciona una de las posiciones, donde la probabilidad de selección es proporcional al *fitness* relativo.

La conversión de *fitness* a probabilidad es distinta dependiendo de la métrica utilizada para calcular el *fitness*.

- Si el *fitness* es el valor negativo del error, cuanto menor sea el *fitness* (menor la magnitud del valor negativo), mayor debe ser la probabilidad de ser seleccionado. Para lograr la conversión se emplea  $\frac{1}{fitness}$ . Además, como en este caso el *fitness* es negativo y toda probabilidad debe ser positiva, se tiene que cambiar el signo. Esto último se consigue automáticamente al dividir entre el sumatorio de la inversa de todos los *fitness*.

$$\text{Probabilidad selección individuo } i = \frac{1/fitness_i}{\sum_{k=1}^n 1/fitness_k}$$

- Si el *fitness* es el *accuracy*, cuanto mayor sea el *fitness*, mayor debe ser la probabilidad de ser seleccionado. En este caso, no es necesario calcular la inversa.

$$\text{Probabilidad selección individuo } i = \frac{fitness_i}{\sum_{k=1}^n fitness_k}$$

```
seleccionar_individuo <- function(vector_fitness, metrica){
  # Argumentos:
  # vector_fitness: un vector con el fitness de cada individuo.
  # metrica:        métrica empleada para calcular el fitness.

  # Retorno:
  # El índice que ocupa el individuo seleccionado.

  if (metrica == "mse") {
    probabilidad_seleccion <- (1/vector_fitness) / sum(1/vector_fitness)
  } else if (metrica == "accuracy") {
    probabilidad_seleccion <- (vector_fitness) / sum(vector_fitness)
  } else {
    stop("La métrica debe ser mse o accuracy")
  }

  indice_seleccionado <- sample(x = 1:length(vector_fitness),
                                size = 1,
                                prob = probabilidad_seleccion)

  return(indice_seleccionado)
}
```

**Ejemplo:** Se selecciona un individuo de entre 10 empleando una probabilidad de selección proporcional a sus *fitness*, que ha sido calculado empleando el *MSE*.

```
fitness_poblacion <- c(-1.108135, -1.008429, -1.089496, -1.134591, -1.093815,
                      -1.115322, -1.139260, -1.196236, -1.086550, -1.173734)
seleccionar_individuo(vector_fitness = fitness_poblacion, metrica = "mse")
```

```
## [1] 3
```

## Cruzar dos individuos (*crossover*, *recombinación*)

El objetivo de esta etapa es generar, a partir de individuos ya existentes (parentales), nuevos individuos (descendencia) que combinen las características de los anteriores. Este es otro de los puntos del algoritmo en los que se puede seguir varias estrategias. Tres de las más empleadas son:

- Cruzamiento a partir de uno solo punto: se selecciona aleatoriamente una posición que actúa como punto de corte. Cada individuo parental se divide en dos partes y se intercambian las mitades. Como resultado de este proceso, por cada cruce, se generan dos nuevos individuos.
- Cruzamiento a partir múltiples puntos: se seleccionan aleatoriamente varias posiciones que actúan como puntos de corte. Cada individuo parental se divide por los puntos de corte y se intercambian las partes. Como resultado de este proceso, por cada cruce, se generan dos nuevos individuos.
- Cruzamiento uniforme: el valor que toma cada posición del nuevo individuo se obtiene de uno de los dos parentales. Por lo general, la probabilidad de que el valor proceda de cada parental es la misma, aunque podría, por ejemplo, estar condicionada al *fitness* de cada uno. A diferencia de las anteriores estrategias, con esta, de cada cruce se genera un único descendiente.

```

cruzar_individuos <- function(parental_1, parental_2){
  # Argumentos:
  #   parental_1: vector que representa a un individuo.
  #   parental_2: vector que representa a un individuo.

  # Retorno:
  #   Un vector que representa a un nuevo individuo.

  # Para crear el nuevo individuo, se emplea el método de cruzamiento uniforme,
  # con la misma probabilidad de que el valor proceda de cada parental.

  if(length(parental_1) != length(parental_2)){
    stop(paste0("La longitud de los dos vectores que representan a los ",
               "individuos debe ser la misma."))
  }

  # Se crea el vector que representa el nuevo individuo
  descendencia <- rep(NA, times = length(parental_1))

  # Se seleccionan aleatoriamente las posiciones que se heredan del parental_1.
  herencia_parent_1 <- sample(x = c(TRUE, FALSE),
                             size = length(parental_1),
                             replace = TRUE)

  # El resto de posiciones se heredan del parental_2.
  herencia_parent_2 <- !herencia_parent_1
  descendencia[herencia_parent_1] <- parental_1[herencia_parent_1]
  descendencia[herencia_parent_2] <- parental_2[herencia_parent_2]

  return(descendencia)
}

```

**Ejemplo:** se obtiene un nuevo individuo a partir del cruce de los individuos `c(T, T, T, T, T)` y `c(F, F, F, F, F)`.

```

cruzar_individuos(parental_1 = c(T, T, T, T, T),
                  parental_2 = c(F, F, F, F, F))

```

```
## [1] FALSE TRUE FALSE FALSE TRUE
```

## Mutar individuo

Tras generar cada nuevo individuo de la descendencia, este se somete a un proceso de mutación en el que, cada una de sus posiciones, puede verse modificada con una probabilidad  $p$ . Este paso es importante para añadir diversidad al proceso y evitar que el algoritmo caiga en mínimos locales por que todos los individuos sean demasiado parecidos de una generación a otra.

```
mutar_individuo <- function(individuo, prob_mut = 0.01){
  # Argumentos:
  #  individuo: vector que representa a un individuo.
  #  prob_mut: probabilidad que tiene cada posición del vector de mutar.

  # Retorno:
  # Un vector que representa al individuo tras someterse a las mutaciones.

  # Selección de posiciones a mutar.
  posiciones_mutadas <- runif(n = length(individuo), min = 0, max = 1) < prob_mut

  # Se modifica el valor de aquellas posiciones que hayan sido seleccionadas para
  # mutar. Si el valor de prob_mut es muy bajo, las mutaciones serán muy poco
  # frecuentes y el individuo devuelto será casi siempre igual al original.
  individuo[posiciones_mutadas] <- !(individuo[posiciones_mutadas])
  return(individuo)
}
```

**Ejemplo:** se somete a un individuo al proceso de mutación, con una probabilidad de mutación de 0.2.

```
mutar_individuo(individuo = c(T,T,T,T,T,T,T,T,T,T), prob_mut = 0.2)
```

```
## [1] TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE FALSE TRUE
```

## Algoritmo completo

En cada uno de los apartados anteriores se ha definido una de las etapas del algoritmo genético. A continuación, se combinan todas ellas dentro de una única función.

```
seleccionar_predictores <- function(x,
                                   y,
                                   n_poblacion = 20,
                                   n_generaciones = 10,
                                   n_max_predictores = NULL,
                                   n_min_predictores = NULL,
                                   modelo = "lm",
                                   cv = 5,
                                   elitismo = 0.1,
                                   prob_mut = 0.01,
                                   verbose = TRUE,
                                   parada_temprana = FALSE,
                                   rondas_parada = NULL,
                                   tolerancia_parada = NULL,
                                   ...
                                   ){

  # COMPROBACIONES INICIALES
  # =====
  # Comprobación de que la variable respuesta es numérica si el modelo es lm.
  if(!is.numeric(y) & modelo == "lm"){
    stop(paste("El modelo lm solo puede aplicarse a problemas de regresión,",
              "(variable respuesta numérica)."))
  }

  # El número máximo de predictores no puede superar el número de columnas de x.
  if(n_max_predictores > ncol(x)){
    stop(paste("El número máximo de predictores no puede superar al número de",
              "variables disponibles en x.))
  }

  # Si se activa la parada temprana, hay que especificar los argumentos
  # rondas_parada y tolerancia_parada.
  if(isTRUE(parada_temprana) &
    (is.null(rondas_parada)|is.null(tolerancia_parada))){
    stop(paste("Para activar la parada temprana es necesario indicar un valor",
              "de rondas_parada y de tolerancia_parada.))
  }
}
```



```

# ALMACENAMIENTO DE RESULTADOS
# =====
# Por cada generación se almacena el mejor individuo, su fitness, y el porcentaje
# de mejora respecto a la última generación.
resultados_fitness      <- vector(mode = "list", length = n_generaciones)
resultados_individuo     <- vector(mode = "list", length = n_generaciones)
porcentaje_mejora        <- vector(mode = "list", length = n_generaciones)

# CREACIÓN DE LA POBLACIÓN INICIAL
# =====
poblacion <- crear_poblacion(n_poblacion = n_poblacion,
                           n_variables = ncol(x),
                           n_max = n_max_predictores,
                           n_min = n_min_predictores,
                           verbose = verbose
                           )

# ITERACIÓN DE POBLACIONES
# =====
for (i in 1:n_generaciones) {

  if(verbose){
    print("-----")
    print(paste("Generación:", i))
    print("-----")
  }

  # CALCULAR FITNESS DE LOS INDIVIDUOS DE LA POBLACION
  # =====
  fitness_ind_poblacion <- calcular_fitness_poblacion(poblacion = poblacion,
                                                    x = x,
                                                    y = y,
                                                    modelo = modelo,
                                                    cv = cv,
                                                    verbose = verbose)

  # SE ALMACENA EL MEJOR INDIVIDUO DE LA POBLACION ACTUAL
  # =====
  fitness_mejor_individuo <- max(fitness_ind_poblacion)
  mejor_individuo         <- poblacion[which.max(fitness_ind_poblacion), ]
  resultados_fitness[[i]] <- fitness_mejor_individuo
  resultados_individuo[[i]] <- colnames(x)[mejor_individuo]
}

```

```

# SE CALCULA LA MEJORA RESPECTO A LA GENERACIÓN ANTERIOR
# =====
# El porcentaje de mejora solo puede calcularse a partir de la segunda
# generación.
if(i > 1){
  porcentaje_mejora[[i]] <- 1 - (resultados_fitness[[i]] /
                                resultados_fitness[[i-1]])
}

# NUEVA POBLACION
# =====
nueva_poblacion <- matrix(data = NA,
                          nrow = nrow(poblacion),
                          ncol = ncol(poblacion))

# ELITISMO
# =====
# El elitismo indica el porcentaje de mejores individuos de la población
# actual que pasan directamente a la siguiente población. De esta forma, se
# asegura que, la siguiente generación, no sea nunca inferior.

if(elitismo > 0){
  n_elitismo <- ceiling(nrow(poblacion)*elitismo)
  posicion_n_mejores <- order(fitness_ind_poblacion, decreasing = TRUE)
  posicion_n_mejores <- posicion_n_mejores[1:n_elitismo]
  nueva_poblacion[1:n_elitismo, ] <- poblacion[posicion_n_mejores, ]
}else{
  n_elitismo <- 0
}

# CREACIÓN DE NUEVOS INDIVIDUOS POR CRUCES
# =====
for (j in (n_elitismo + 1):nrow(nueva_poblacion)) {

  # Seleccionar parentales
  metrica <- ifelse(test = is.numeric(y), "mse", "accuracy")
  indice_parental_1 <- seleccionar_individuo(vector_fitness=fitness_ind_poblacion,
                                             metrica=metrica)
  indice_parental_2 <- seleccionar_individuo(vector_fitness=fitness_ind_poblacion,
                                             metrica=metrica)
  indice_parental_1 <- seleccionar_individuo(vector_fitness=fitness_ind_poblacion)
  indice_parental_2 <- seleccionar_individuo(vector_fitness=fitness_ind_poblacion)
  parental_1 <- poblacion[indice_parental_1, ]
  parental_2 <- poblacion[indice_parental_2, ]

  # Cruzar parentales para obtener la descendencia
  descendencia <- cruzar_individuos(parental_1 = parental_1,
                                    parental_2 = parental_2)
}

```

```

# Mutar La descendencia
descendencia <- mutar_individuo(individuo = descendencia,
                               probab_mut = probab_mut)

# Almacenar el nuevo descendiente en la nueva población: puede ocurrir que
# el individuo resultante del cruce y posterior mutación no contenga ningún
# predictor (todas sus posiciones son FALSE). Si esto ocurre, y para evitar
# que se produzca un error al ajustar el modelo, se introduce aleatoriamente
# un valor TRUE.
if(all(descendencia == FALSE)){
  descendencia[sample(x = 1:length(descendencia), size = 1)] <- TRUE
}
nueva_poblacion[j,] <- descendencia
}
poblacion <- nueva_poblacion

# CRITERIO DE PARADA
# =====
# Si durante las últimas n generaciones el mejor individuo no ha mejorado por
# una cantidad superior a tolerancia_parada, se detiene el algoritmo y no se
# crean nuevas generaciones.
if(parada_temprana & (i > rondas_parada)){
  ultimos_n <- tail(unlist(porcentaje_mejora), n = rondas_parada)
  if(all(ultimos_n < tolerancia_parada)){
    print(paste("Algoritmo detenido en la generacion", i,
                "por falta de mejora mínima de", tolerancia_parada,
                "durante", rondas_parada, "generaciones consecutivas."))
    break()
  }
}
}

# RESULTADOS
# =====
# La función devuelve una lista con 4 elementos:
# fitness:          una lista con el fitness del mejor individuo de cada
#                   generación.
# mejor_individuo:  una lista con la combinación de predictores del mejor
#                   individuo de cada generación.
# porcentaje_mejora: una lista con el porcentaje de mejora entre el mejor
#                   individuo de cada generación.
# df_resultados:    un dataframe con todos los resultados anteriores.

# Para crear el dataframe se convierten las listas a vectores del mismo tamaño.
fitness <- unlist(resultados_fitness)
predictores <- resultados_individuo[!sapply(resultados_individuo, is.null)]
predictores <- sapply(predictores, function(x){paste(x, collapse = ", ")})
mejora <- c(NA, unlist(porcentaje_mejora))

```

```
df_resultados <- data.frame(  
  fitness      = fitness,  
  predictores  = predictores,  
  mejora       = mejora  
)  
return(list(fitness      = resultados_fitness,  
  mejor_individuo = resultados_individuo,  
  porcentaje_mejora = porcentaje_mejora,  
  df_resultados   = df_resultados))  
}
```

## Ejemplo regresión

### Simulación de datos

En el paquete `mlbench` puede encontrarse, entre muchos otros data sets, el problema de regresión propuesto por Friedman (1991) y Breiman (1996). Con la función `mlbench.friedman1()` se puede generar un conjunto de datos simulados que siguen la ecuación:

$$y = 10\sin(\pi x_1 x_2) + 20(x_3 - 0.5)^2 + 10x_4 + 5x_5 + \epsilon$$

Además de las primeras 5 columnas ( $x_1, \dots, x_5$ ), que están relacionadas con la variable respuesta, se añaden automáticamente 5 columnas adicionales ( $x_6, \dots, x_{10}$ ) que siguen una distribución uniforme  $[0,1]$  y que, por lo tanto, no guardan relación alguna con la variable respuesta.

```
library(mlbench)
library(dplyr)
set.seed(123)
simulacion <- mlbench.friedman1(n = 500, sd = 1)
#El objeto simulacion es una lista que contiene una matriz con los 10 predictores y
#un vector con la variable respuesta. Se unen todos los datos en un único
#dataframe.
datos <- as.data.frame(simulacion$x)
datos$y <- simulacion$y
colnames(datos) <- c(paste("x", 1:10, sep = ""), "y")
datos <- datos %>% select(y, everything())
head(datos)
```

```
##           y           x1           x2           x3           x4           x5           x6
## 1 13.665374 0.2875775 0.35360608 0.2736227 0.9380283 0.1596740 0.8535317
## 2 19.232842 0.7883051 0.36644144 0.5938669 0.9880033 0.1445159 0.6660066
## 3 10.519756 0.4089769 0.28710013 0.1601848 0.4563196 0.1491804 0.7333267
## 4  9.042955 0.8830174 0.07997291 0.8534302 0.2306149 0.5144343 0.3147403
## 5 21.430304 0.9404673 0.36545427 0.8477392 0.6954893 0.4928273 0.6677179
## 6  8.436942 0.0455565 0.17801381 0.4778868 0.5566323 0.6163428 0.4638867
##           x7           x8           x9           x10
## 1 0.2058269 0.2414939 0.3044642 0.10504174
## 2 0.9425390 0.4107782 0.8328188 0.40250560
## 3 0.3793238 0.8111750 0.5936475 0.45567659
## 4 0.6262401 0.3791412 0.8071966 0.62464525
## 5 0.1835024 0.4469502 0.2940508 0.07885528
## 6 0.6592076 0.5705078 0.1410852 0.34198272
```

Se añaden además 20 columnas adicionales con valores aleatorios distribuidos de forma normal.

```
n <- 500
p <- 20
ruido <- matrix(rnorm(n * p), nrow = n)
colnames(ruido) <- paste("x", 11:(10+p), sep = "")
ruido <- as.data.frame(ruido)
datos <- bind_cols(datos, ruido)
head(datos)
```

```
##           y           x1           x2           x3           x4           x5           x6
## 1 13.665374 0.2875775 0.35360608 0.2736227 0.9380283 0.1596740 0.8535317
## 2 19.232842 0.7883051 0.36644144 0.5938669 0.9880033 0.1445159 0.6660066
## 3 10.519756 0.4089769 0.28710013 0.1601848 0.4563196 0.1491804 0.7333267
## 4  9.042955 0.8830174 0.07997291 0.8534302 0.2306149 0.5144343 0.3147403
## 5 21.430304 0.9404673 0.36545427 0.8477392 0.6954893 0.4928273 0.6677179
## 6  8.436942 0.0455565 0.17801381 0.4778868 0.5566323 0.6163428 0.4638867
##           x7           x8           x9           x10          x11          x12
## 1 0.2058269 0.2414939 0.3044642 0.10504174 -0.15030748  1.4783345
## 2 0.9425390 0.4107782 0.8328188 0.40250560 -0.32775713 -1.4067867
## 3 0.3793238 0.8111750 0.5936475 0.45567659 -1.44816529 -1.8839721
## 4 0.6262401 0.3791412 0.8071966 0.62464525 -0.69728458 -0.2773662
## 5 0.1835024 0.4469502 0.2940508 0.07885528  2.59849023  0.4304278
## 6 0.6592076 0.5705078 0.1410852 0.34198272 -0.03741501 -0.1287867
##           x13          x14          x15          x16          x17          x18
## 1 0.1965498 0.8343715 -0.4941739 -1.3572306 -0.6992281  0.5844478
## 2 0.6501132 -0.6984039  1.1275935 -1.2926978  0.9964515 -0.1975278
## 3 0.6710042  1.3092405 -1.1469495 -1.5172073 -0.6927454  1.7974935
## 4 -1.2841578 -0.9801776  1.4810186  0.8591760 -0.1034830  1.5628134
## 5 -2.0261096  0.7479851  0.9161912 -1.2146175  0.6038661 -0.7512625
## 6  2.2053261  1.2577966  0.3351310  0.6190554 -0.6080450  1.3784108
##           x19          x20          x21          x22          x23          x24
## 1 -1.6180367 0.3500025 0.5110004 0.272647072  1.9315759 -0.3378621
## 2 0.3791812 0.8144417  1.8079928 0.041452123 -0.6164747 -0.1471321
## 3  1.9022505 -0.5166661 -1.7026150 -0.004881852 -0.5625675 -0.6736354
## 4 0.6018743 -2.6922644 0.2874488 -0.976219229 -0.9899631 -0.5686278
## 5  1.7323497 -1.0969546 -0.2691142 0.144050084  2.7312276  0.4708565
## 6 -0.1468696 -1.2554751 -0.3795247 0.456619219 -0.7216662  1.3013367
##           x25          x26          x27          x28          x29          x30
## 1  2.3707252 0.9863167 0.2677904 -0.5582810 -0.1506300  0.01014789
## 2 -0.1668120 -0.6629674 -0.3993609 0.1254263  0.8009406  1.56213812
## 3 0.9269614 0.5767211 0.2768838  1.8151103 -1.1867178  0.41284605
## 4 -0.5681517 -0.1378378 -1.2336734 0.1630368  0.4306364 -1.18886219
## 5 0.2250901 -0.1681767 0.7535749 -0.7234664  0.2167471  0.71454993
## 6  1.1319859 0.5761930 0.2892610 0.5809549  0.9612923  0.58507617
```

Como resultado se ha generado un conjunto de datos con 30 predictores, de los cuales, solo 5 están realmente relacionados con la variable respuesta.

## Selección de predictores

En primer lugar se emplean pocos individuos y generaciones para mostrar la información que se imprime por pantalla cuando `verbose = TRUE`.

```
seleccion <- seleccionar_predictores(x = datos[, -1],
                                     y = datos$y,
                                     n_poblacion = 5,
                                     n_generaciones = 10,
                                     n_max_predictores = 8,
                                     n_min_predictores = 1,
                                     elitismo = 0.1,
                                     prob_mut = 0.01,
                                     modelo = "rf",
                                     cv = 5,
                                     verbose = TRUE,
                                     parada_temprana = TRUE,
                                     rondas_parada = 4,
                                     tolerancia_parada = 0.01
                                   )
```

```
## [1] "Población inicial creada"
## [1] "Número de individuos = 5"
## [1] "Número de predictores mínimo por individuo = 1"
## [1] "Número de predictores máximo por individuo = 8"
##
## [1] "-----"
## [1] "Generación: 1"
## [1] "-----"
## [1] "Individuo 1 : FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -33.4937748882335"
##
## [1] "Individuo 2 : FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE TRUE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -35.1898854520939"
##
## [1] "Individuo 3 : FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE TRUE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE
TRUE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -24.0739443735319"
##
## [1] "Individuo 4 : TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -24.3922070205572"
##
## [1] "Individuo 5 : FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
```

```

FALSE FALSE TRUE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -27.056440150829"
##
## [1] "Fitness calculado para los 5 individuos de la población."
## [1] "Modelo empleado para el cálculo del fitness: rf"
##
## [1] "-----"
## [1] "Generación: 2"
## [1] "-----"
## [1] "Individuo 1 : FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE TRUE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE
TRUE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -24.0739443735319"
##
## [1] "Individuo 2 : TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -24.3922070205572"
##
## [1] "Individuo 3 : FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -29.6420553630002"
##
## [1] "Individuo 4 : FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -29.914583610825"
##
## [1] "Individuo 5 : TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -21.2679574169409"
##
## [1] "Fitness calculado para los 5 individuos de la población."
## [1] "Modelo empleado para el cálculo del fitness: rf"
##
## [1] "-----"
## [1] "Generación: 3"
## [1] "-----"
## [1] "Individuo 1 : TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -21.2679574169409"
##
## [1] "Individuo 2 : FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE
FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -28.1248903098165"
##
## [1] "Individuo 3 : FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -29.914583610825"

```



```
##  
## [1] "Individuo 4 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE  
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE  
FALSE FALSE FALSE"  
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -19.076204922599"  
##  
## [1] "Individuo 5 : FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE TRUE FALSE  
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE  
TRUE FALSE FALSE"  
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -24.0739443735319"  
##  
## [1] "Fitness calculado para los 5 individuos de la población."  
## [1] "Modelo empleado para el cálculo del fitness: rf"  
##  
## [1] "-----"  
## [1] "Generación: 4"  
## [1] "-----"  
## [1] "Individuo 1 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE  
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE  
FALSE FALSE FALSE"  
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -19.076204922599"  
##  
## [1] "Individuo 2 : FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE  
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE  
TRUE TRUE FALSE FALSE"  
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -27.5809372029824"  
##  
## [1] "Individuo 3 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE  
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE  
FALSE FALSE FALSE"  
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -19.076204922599"  
##  
## [1] "Individuo 4 : TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE  
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE  
FALSE FALSE FALSE"  
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -19.0168231225349"  
##  
## [1] "Individuo 5 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE  
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE  
TRUE FALSE FALSE"  
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -18.8433477249609"  
##  
## [1] "Fitness calculado para los 5 individuos de la población."  
## [1] "Modelo empleado para el cálculo del fitness: rf"  
##  
## [1] "-----"  
## [1] "Generación: 5"  
## [1] "-----"  
## [1] "Individuo 1 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE  
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE  
TRUE FALSE FALSE"  
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -18.8433477249609"  
##  
## [1] "Individuo 2 : FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE  
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE
```

```

TRUE TRUE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -24.6691907148176"
##
## [1] "Individuo 3 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -19.076204922599"
##
## [1] "Individuo 4 : FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -25.5320534830692"
##
## [1] "Individuo 5 : TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -20.9132472913046"
##
## [1] "Fitness calculado para los 5 individuos de la población."
## [1] "Modelo empleado para el cálculo del fitness: rf"
##
## [1] "-----"
## [1] "Generación: 6"
## [1] "-----"
## [1] "Individuo 1 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
TRUE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -18.8433477249609"
##
## [1] "Individuo 2 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -19.076204922599"
##
## [1] "Individuo 3 : FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -24.5758223503607"
## [1] "Individuo 4 : FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -25.5320534830692"
##
## [1] "Individuo 5 : FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE
FALSE TRUE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -24.5906602920682"
##
## [1] "Fitness calculado para los 5 individuos de la población."
## [1] "Modelo empleado para el cálculo del fitness: rf"
##
## [1] "-----"
## [1] "Generación: 7"
## [1] "-----"
## [1] "Individuo 1 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE

```

```

FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
TRUE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -18.8433477249609"
##
## [1] "Individuo 2 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
TRUE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -18.8433477249609"
##
## [1] "Individuo 3 : FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -25.5320534830692"
##
## [1] "Individuo 4 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -19.076204922599"
##
## [1] "Individuo 5 : FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -24.5758223503607"
##
## [1] "Fitness calculado para los 5 individuos de la población."
## [1] "Modelo empleado para el cálculo del fitness: rf"
##
## [1] "-----"
## [1] "Generación: 8"
## [1] "-----"
## [1] "Individuo 1 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
TRUE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -18.8433477249609"
##
## [1] "Individuo 2 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
TRUE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -18.8433477249609"
##
## [1] "Individuo 3 : FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -24.5758223503607"
##
## [1] "Individuo 4 : FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -25.8639673511654"
##
## [1] "Individuo 5 : TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE
TRUE FALSE FALSE"
## [1] "El fitness calculado por CV = 5 es de: -18.8433477249609"
##

```

```
## [1] "Fitness calculado para los 5 individuos de la población."
## [1] "Modelo empleado para el cálculo del fitness: rf"
##
## [1] "Algoritmo detenido en la generacion 8 por falta de mejora mínima de 0.01 durante 4
generaciones consecutivas."
```

```
# Mejor fitness de cada generación.
unlist(seleccion$fitness)
```

```
## [1] -24.07394 -21.26796 -19.07620 -18.84335 -18.84335 -18.84335 -18.84335
## [8] -18.84335
```

```
# Mejor individuo de cada generación.
seleccion$mejor_individuo
```

```
## [[1]]
## [1] "x5" "x10" "x11" "x22" "x24" "x28"
##
## [[2]]
## [1] "x1" "x6" "x24"
##
## [[3]]
## [1] "x1" "x5" "x22" "x24"
##
## [[4]]
## [1] "x1" "x5" "x22" "x24" "x28"
##
## [[5]]
## [1] "x1" "x5" "x22" "x24" "x28"
##
## [[6]]
## [1] "x1" "x5" "x22" "x24" "x28"
##
## [[7]]
## [1] "x1" "x5" "x22" "x24" "x28"
##
## [[8]]
## [1] "x1" "x5" "x22" "x24" "x28"
##
## [[9]]
## NULL
##
## [[10]]
## NULL
```

```
# Porcentaje de mejora entre generaciones.
unlist(seleccion$porcentaje_mejora)
```

```
## [1] 0.11655701 0.10305421 0.01220668 0.00000000 0.00000000 0.00000000
## [7] 0.00000000
```

```
# Resultados en forma de dataframe
seleccion$df_resultados
```

```
##      fitness      predictores      mejora
## 1 -24.07394 x5, x10, x11, x22, x24, x28      NA
## 2 -21.26796      x1, x6, x24 0.11655701
## 3 -19.07620      x1, x5, x22, x24 0.10305421
## 4 -18.84335      x1, x5, x22, x24, x28 0.01220668
## 5 -18.84335      x1, x5, x22, x24, x28 0.00000000
## 6 -18.84335      x1, x5, x22, x24, x28 0.00000000
## 7 -18.84335      x1, x5, x22, x24, x28 0.00000000
## 8 -18.84335      x1, x5, x22, x24, x28 0.00000000
```

Se repite el proceso, pero, esta vez, con 50 individuos por generación y 20 generaciones. Se especifica que `verbose = FALSE` para no saturar la consola.

```
seleccion <- seleccionar_predictores(x = datos[, -1],
                                     y = datos$y,
                                     n_poblacion = 50,
                                     n_generaciones = 20,
                                     n_max_predictores = 10,
                                     n_min_predictores = 1,
                                     elitismo = 0.1,
                                     modelo = "rf",
                                     cv = 5,
                                     verbose = FALSE,
                                     parada_temprana = TRUE,
                                     rondas_parada = 5,
                                     tolerancia_parada = 0.01
                                   )
```

```
## [1] "Algoritmo detenido en la generacion 15 por falta de mejora mínima de 0.01
durante 5 generaciones consecutivas."
```

## Mejor individuo

El objeto devuelto por la función `seleccionar_predictores` almacena el mejor individuo de cada generación junto con su *fitness*, por lo que es fácil conocer cuál ha sido, de entre todos, el mejor individuo, así como la evolución a lo largo de las generaciones.

```
seleccion$mejor_individuo[[which.max(unlist(seleccion$fitness))]]
```

```
## [1] "x1" "x2" "x3" "x4" "x5" "x21" "x28"
```

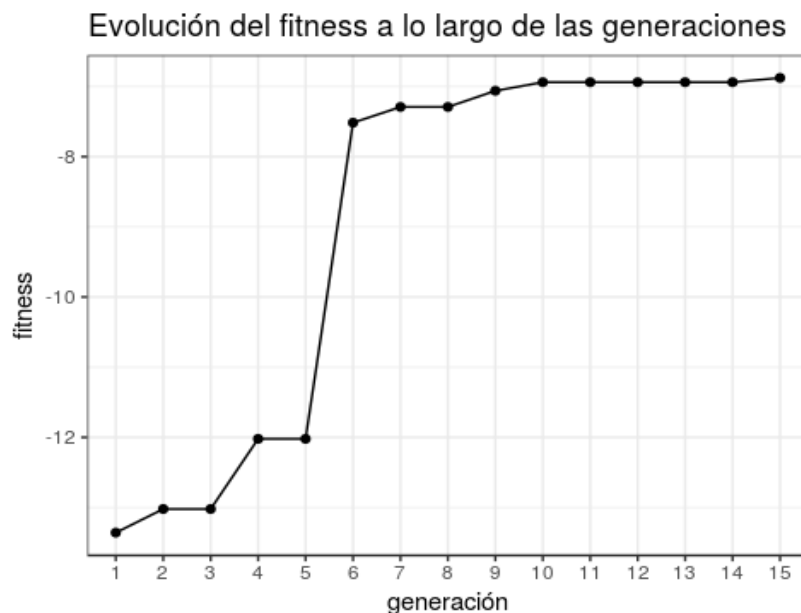
```
# Otra forma de identificar al mejor individuo
seleccion$df_resultados %>%
  arrange(desc(fitness)) %>%
  head(1)
```

```
##      fitness                predictores      mejora
## 1 -6.877708 x1, x2, x3, x4, x5, x21, x28 0.008846317
```

## Evolución del error

En el siguiente gráfico se puede ver cómo evoluciona el *fitness* del mejor individuo a medida que avanzan las generaciones.

```
library(ggplot2)
ggplot(data = seleccion$df_resultados,
  aes(x = factor(1:nrow(seleccion$df_resultados)), y = fitness)) +
  geom_line(aes(group = 1)) +
  geom_point() +
  labs(title = "Evolución del fitness a lo largo de las generaciones",
    x = "generación") +
  theme_bw()
```



## Frecuencia selección variables

Tal y como ocurre en este caso (sobre todo si se emplea *ranfom forest* con muchos árboles), el mejor individuo puede incorporar algunos predictores no relevantes o dejarse fuera alguno de los importantes. Una forma de ser críticos con el resultado obtenido al aplicar el algoritmo genético, es seguir la siguiente idea: si realmente existen variables útiles, es de esperar que estas tiendan a aparecer en el mejor individuo de cada generación, mientras que, las variables no relevantes, cambiarán con más frecuencia.

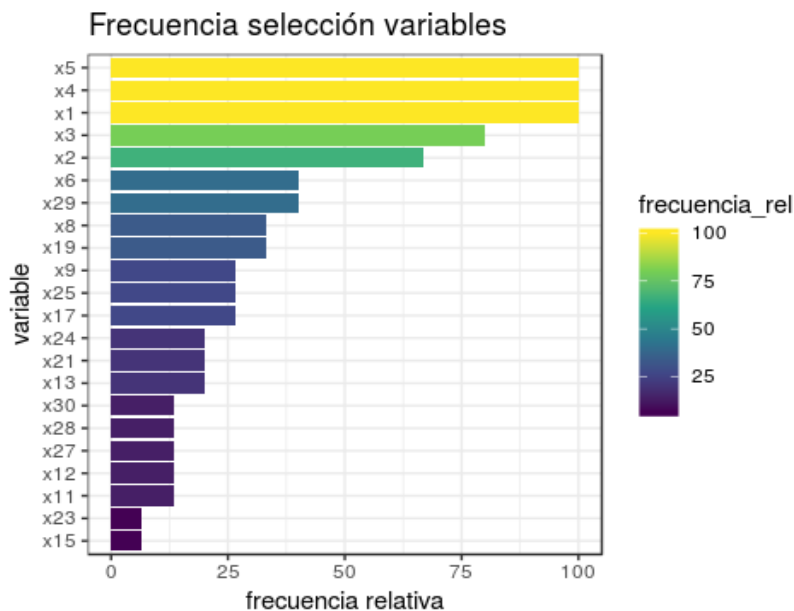
Como se han almacenado las variables que incluye el mejor individuo de cada generación, se puede calcular la frecuencia con la que ha aparecido cada una.

```
frecuencia_abs <- table(unlist(seleccion$mejor_individuo))
n_generaciones <- sum(!sapply(seleccion$mejor_individuo, is.null))
frecuencia_rel <- (frecuencia_abs / n_generaciones) * 100

as.data.frame(frecuencia_rel) %>%
  rename(variable = Var1, frecuencia_rel = Freq) %>%
  arrange(desc(frecuencia_rel))
```

```
##   variable frecuencia_rel
## 1      x1      100.000000
## 2      x4      100.000000
## 3      x5      100.000000
## 4      x3       80.000000
## 5      x2       66.666667
## 6     x29       40.000000
## 7      x6       40.000000
## 8     x19       33.333333
## 9      x8       33.333333
## 10     x17       26.666667
## 11     x25       26.666667
## 12      x9       26.666667
## 13     x13       20.000000
## 14     x21       20.000000
## 15     x24       20.000000
## 16     x11       13.333333
## 17     x12       13.333333
## 18     x27       13.333333
## 19     x28       13.333333
## 20     x30       13.333333
## 21     x15        6.666667
## 22     x23        6.666667
```

```
as.data.frame(frecuencia_rel) %>%
  rename(variable = Var1, frecuencia_rel = Freq) %>%
  arrange(desc(frecuencia_rel)) %>%
  ggplot(aes(x = reorder(variable, frecuencia_rel), y = frecuencia_rel,
    fill = frecuencia_rel)) +
  geom_col() +
  scale_fill_viridis_c() +
  labs(title = "Frecuencia selección variables", x = "variable",
    y = "frecuencia relativa") +
  coord_flip() +
  theme_bw()
```



Una forma de facilitar la valoración de estas frecuencias es compararlas frente a la frecuencia esperada solo por azar. La probabilidad de que una variable  $i$  perteneciente un conjunto de variables de tamaño  $M$  esté incluida en un subconjunto de tamaño  $N$  obtenido por muestreo aleatorio sin reposición es:

$$P(i \text{ en } N) = \frac{N}{M}$$

Como el tamaño de cada individuo varía, hay que tenerlo en cuenta en el cálculo. Supónganse 5 individuos de tamaños  $K=\{5,5,3,2,1\}$  y que el total de variables disponibles es  $M$ . El número de individuos en los que se espera que una determinada variable haya sido seleccionada por azar es:

$$\sum_{i \in K} \frac{i}{M}$$



La siguiente función realiza el cálculo de la frecuencia esperada.

```
calcular_frecuencia_esperada <- function(n_variables, individuos){
  # Argumentos:
  #   n_variables: número total de variables disponibles.
  #   individuos: lista con el mejor individuo de cada generación.

  # Retorno:
  # Porcentaje de individuos en los que se espera que una variable aparezca
  # solo por azar.

  n_individuos <- sum(!sapply(X = individuos, FUN = is.null))
  tamayos      <- sapply(X = individuos, FUN = length)
  tamayos      <- tamayos[tamayos != 0]

  frecuencia_esperada <- 0

  for (i in tamayos) {
    frecuencia_esperada <- frecuencia_esperada + i/n_variables
  }
  return(frecuencia_esperada/n_individuos)
}
```

```
calcular_frecuencia_esperada(n_variables = ncol(datos)-1,
                             individuos  = seleccion$mejor_individuo)
```

```
## [1] 0.2711111
```

Puede observarse como, las variables que aparecen con más frecuencia en los mejores individuos de cada generación, son las que están realmente relacionadas con la variable respuesta. Combinando el resultado obtenido en el individuo final del algoritmo genético con la información de las frecuencias, se pueden obtener buenos resultados de selección.

Puede observarse que, las variables que aparecen con más frecuencia en los mejores individuos de cada generación, son las que están realmente relacionadas con la variable respuesta. Además, todas ellas superan la frecuencia esperada por azar. Combinando el resultado obtenido en el individuo final del algoritmo genético con la información de las frecuencias, se pueden obtener buenos resultados de selección.

*Nota: si se utiliza elitismo, el mejor individuo de una generación puede pasar por las siguientes  $n$  generaciones de forma directa. De ser así, las variables no relevantes que arrastre este individuo aparecerán con una frecuencia superior a la esperada por azar aun cuando no son predictores útiles.*

## Ejemplo clasificación

### Datos

El set de datos `titanic_train` del paquete `titanic` contiene información sobre los pasajeros del transatlántico titanic así como si sobrevivieron o no al naufragio. Se pretende identificar las variables con las que mejor se puede predecir si un pasajero vivió o falleció.

```
library(titanic)

# Se eliminan para este ejemplo 3 variables.
datos <- titanic_train %>% select(-Name, -Ticket, -Cabin)
# Se eliminan observaciones incompletas.
datos <- na.omit(datos)
# Se convierten a factor las variables de tipo character.
datos <- datos %>% mutate_if(is.character, as.factor)
datos <- datos %>% mutate(Survived = as.factor(Survived))
```

### Selección de predictores

```
seleccion <- seleccionar_predictores(x = datos[, -2],
                                   y = datos[, 2],
                                   n_poblacion = 50,
                                   n_generaciones = 20,
                                   n_max_predictores = 8,
                                   n_min_predictores = 1,
                                   elitismo = 0.1,
                                   modelo = "rf",
                                   cv = 5,
                                   verbose = FALSE,
                                   parada_temprana = TRUE,
                                   rondas_parada = 5,
                                   tolerancia_parada = 0.01
                                   )
```

```
## [1] "Algoritmo detenido en la generacion 6 por falta de mejora mínima de 0.01
durante 5 generaciones consecutivas."
```

```
seleccion$df_resultados
```

```
##      fitness                                predictores
## 1 0.8176096 PassengerId, Pclass, Sex, Age, SibSp, Parch, Fare, Embarked
## 2 0.8226326                                Pclass, Sex, Age, SibSp, Parch, Fare, Embarked
## 3 0.8226326                                Pclass, Sex, Age, SibSp, Parch, Fare, Embarked
## 4 0.8228663                                PassengerId, Pclass, Sex, Age, SibSp, Embarked
## 5 0.8282689                                Pclass, Sex, Age, Parch, Fare
## 6 0.8282689                                Pclass, Sex, Age, Parch, Fare
##      mejora
## 1      NA
## 2 -0.0061434266
## 3  0.0000000000
## 4 -0.0002841001
## 5 -0.0065655972
## 6  0.0000000000
```

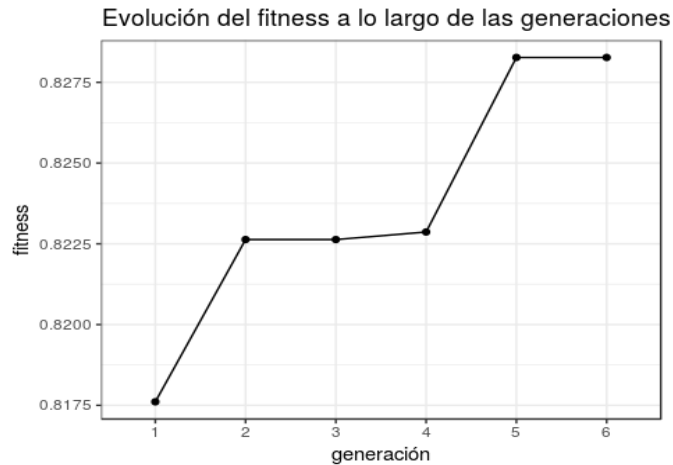
## Mejor individuo

```
seleccion$mejor_individuo[[which.max(unlist(seleccion$fitness))]]
```

```
## [1] "Pclass" "Sex"    "Age"     "Parch"  "Fare"
```

## Evolución del error

```
library(ggplot2)
ggplot(data = seleccion$df_resultados,
       aes(x = factor(1:nrow(seleccion$df_resultados)), y = fitness)) +
  geom_line(aes(group = 1)) +
  geom_point() +
  labs(x = "generación",
       title = "Evolución del fitness a lo largo de las generaciones") +
  theme_bw()
```



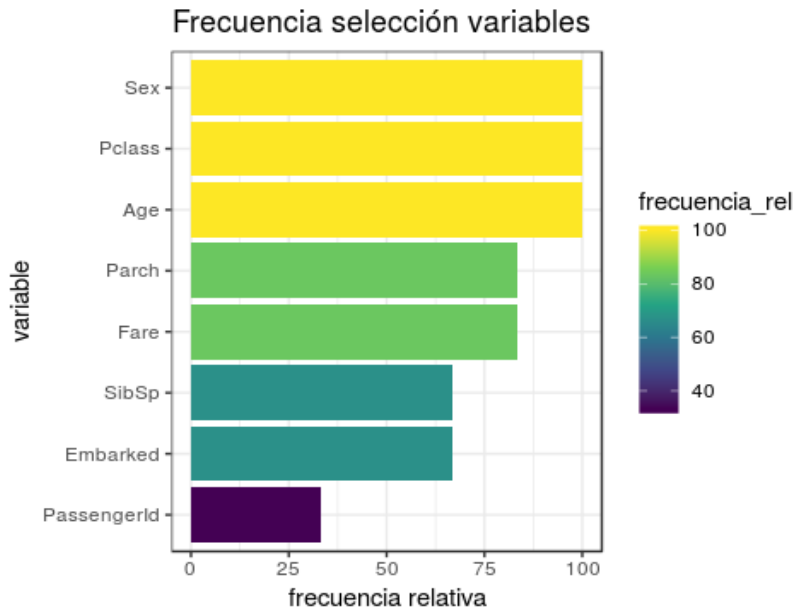
## Frecuencia selección variables

```
frecuencia_abs <- table(unlist(seleccion$mejor_individuo))
n_generaciones <- sum(!sapply(seleccion$mejor_individuo, is.null))
frecuencia_rel <- (frecuencia_abs / n_generaciones) * 100
```

```
as.data.frame(frecuencia_rel) %>%
  rename(variable = Var1, frecuencia_rel = Freq) %>%
  arrange(desc(frecuencia_rel))
```

```
##      variable frecuencia_rel
## 1      Age      100.00000
## 2    Pclass      100.00000
## 3      Sex      100.00000
## 4     Fare       83.33333
## 5    Parch       83.33333
## 6  Embarked       66.66667
## 7    SibSp       66.66667
## 8 PassengerId    33.33333
```

```
as.data.frame(frecuencia_rel) %>%
  rename(variable = Var1, frecuencia_rel = Freq) %>%
  arrange(desc(frecuencia_rel)) %>%
  ggplot(aes(x = reorder(variable, frecuencia_rel), y = frecuencia_rel,
    fill = frecuencia_rel)) +
    geom_col() +
    scale_fill_viridis_c() +
    labs(title = "Frecuencia selección variables",
      x = "variable", y = "frecuencia relativa") +
    coord_flip() +
    theme_bw()
```



## Frecuencia esperada por azar

```
calcular_frecuencia_esperada(n_variables = ncol(datos)-1,
                             individuos = seleccion$mejor_individuo)
```

```
## [1] 0.8333333
```

## Paralelización

Uno de los inconvenientes de los algoritmos genéticos es su alto requerimiento computacional. Por ejemplo, si se establecen 20 generaciones con 50 individuos por generación y una estimación del *fitness* mediante validación cruzada de 5 particiones, en total, se tienen que ajustar  $50 \times 20 \times 5 = 5000$  modelos.

Dos de las estrategias que se pueden emplear para agilizar el proceso son:

- Parada temprana: detener el algoritmo si tras  $n$  generaciones consecutivas no se ha conseguido mejora. Esta estrategia está implementada en los ejemplos anteriores.
- Paralelización: ajustar varios modelos de forma simultánea empleando múltiples cores del ordenador.

El algoritmo genético propuesto en este documento tiene dos etapas que pueden ser paralelizadas: la evaluación de los individuos de una población (`calcular_fitness_poblacion()`) y la validación cruzada de cada individuo (`calcular_fitness_individuo()`). Se procede a paralelizar la primera y comparar el impacto en el tiempo de ejecución.

## Versión paralelizada

```
# Paquetes necesarias para paralelizar.
library(foreach)
library(doParallel)

calcular_fitness_poblacion_paral <- function(poblacion, x , y, cv, seed = 123,
                                             modelo = "rf", verbose = TRUE){
  # Argumentos
  # poblacion: matriz que representa la población de individuos.
  # x:        matriz de predictores.
  # y:        variable respuesta.
  # cv:       número de particiones de validación cruzada.
  # seed:     semilla para garantizar reproducibilidad en el proceso de CV.
  # verbose:  mostrar información del proceso por pantalla.
  # modelo:   tipo de modelo empleado para calcular el fitness. Puede ser
  #           lm o rf.
```

```

# Retorno:
#  vector con el fitness de todos los individuos de la población, obtenido por
#  validación cruzada. El orden de los valores se corresponde con el orden de
#  las filas de la matriz población.

# Tipo de modelo utilizado para calcular el fitness.
if(modelo == "lm"){
  calcular_fitness_individuo <- calcular_fitness_individuo_lm
}else if(modelo == "rf"){
  calcular_fitness_individuo <- calcular_fitness_individuo_rf
}else{
  stop(paste("El modelo empleado para calcular el fitness debe ser",
             "lm (linear model)", "o rf (randomforest)."))
}

# Se emplean todos los cores del ordenador menos 1.
registerDoParallel(parallel::detectCores()-1)

# Se emplea la función foreach para paralelizar.
fitness_poblacion <- foreach::foreach(i = 1:nrow(poblacion)) %dopar% {

  individuo <- poblacion[i, ]
  if(verbose){
    print(paste("Individuo", i, ":", paste(individuo, collapse = " ")))
  }
  fitness_individuo <- calcular_fitness_individuo(
    x = x[,individuo, drop = FALSE],
    y = y,
    cv = cv,
    seed = seed,
    verbose = verbose
  )
  fitness_individuo
}

if(verbose){
  print(paste("Fitness calculado para los",
             nrow(poblacion) ,
             "individuos de la población.))
  print(paste("Modelo empleado para el cálculo del fitness:", modelo))
  metrica_fitness <- ifelse(test = is.numeric(y), "mse", "accuracy")
  print(paste("Métrica empleada para el cálculo del fitness:", metrica_fitness))
  cat("\n")
}

# Se vuelve a un único core.
options(cores = 1)
return(unlist(fitness_poblacion))
}

```

Para incluir la opción de paralelizado, se repite la función del algoritmo completo, esta vez, incluyendo el argumento paralelizado con el que el usuario pueda especificar que se emplee la función `calcular_fitness_poblacion` o `calcular_fitness_poblacion_paral`.

```
seleccionar_predictores <- function(x,
                                   y,
                                   n_poblacion = 20,
                                   n_generaciones = 10,
                                   n_max_predictores = NULL,
                                   n_min_predictores = NULL,
                                   modelo = "lm",
                                   cv = 5,
                                   elitismo = 0.1,
                                   probab_mut = 0.01,
                                   verbose = TRUE,
                                   parada_temprana = FALSE,
                                   rondas_parada = NULL,
                                   tolerancia_parada = NULL,
                                   paralelizado = FALSE,
                                   ...
                                   ){

  # COMPROBACIONES INICIALES
  # =====
  # Comprobación de que la variable respuesta es numérica si el modelo es lm.
  if(!is.numeric(y) & modelo == "lm"){
    stop(paste("El modelo lm solo puede aplicarse a problemas de regresión,",
              "(variable respuesta numérica)."))
  }

  # El número máximo de predictores no puede superar el número de columnas de x.
  if(n_max_predictores > ncol(x)){
    stop(paste("El número máximo de predictores no puede superar al número de",
              "variables disponibles en x.))
  }

  # Si se activa la parada temprana, hay que especificar los argumentos
  # rondas_parada y tolerancia_parada.
  if(isTRUE(parada_temprana) &
    (is.null(rondas_parada) | is.null(tolerancia_parada))){
    stop(paste("Para activar la parada temprana es necesario indicar un valor",
              "de rondas_parada y de tolerancia_parada.))
  }

  # ALMACENAMIENTO DE RESULTADOS
  # =====
  # Por cada generación se almacena el mejor individuo, su fitness, y el porcentaje
  # de mejora respecto a la última generación.
  resultados_fitness <- vector(mode = "list", length = n_generaciones)
```



```

resultados_individuo <- vector(mode = "list", length = n_generaciones)
porcentaje_mejora <- vector(mode = "list", length = n_generaciones)

# CREACIÓN DE LA POBLACIÓN INICIAL
# =====
poblacion <- crear_poblacion(n_poblacion = n_poblacion,
                           n_variables = ncol(x),
                           n_max = n_max_predictores,
                           n_min = n_min_predictores,
                           verbose = verbose
                           )

# ITERACIÓN DE POBLACIONES
# =====
for (i in 1:n_generaciones) {

  if(verbose){
    print("-----")
    print(paste("Generación:", i))
    print("-----")
  }

  # CALCULAR FITNESS DE LOS INDIVIDUOS DE LA POBLACION
  # =====
  if(!paralelizado){
    fitness_ind_poblacion <- calcular_fitness_poblacion(poblacion = poblacion,
                                                         x = x,
                                                         y = y,
                                                         modelo = modelo,
                                                         cv = cv,
                                                         verbose = verbose)
  }

  if(paralelizado){
    fitness_ind_poblacion <- calcular_fitness_poblacion_paral(
                                                         poblacion = poblacion,
                                                         x = x,
                                                         y = y,
                                                         modelo = modelo,
                                                         cv = cv,
                                                         verbose = verbose)
  }

  # SE ALMACENA EL MEJOR INDIVIDUO DE LA POBLACION ACTUAL
  # =====
  fitness_mejor_individuo <- max(fitness_ind_poblacion)
  mejor_individuo <- poblacion[which.max(fitness_ind_poblacion), ]
  resultados_fitness[[i]] <- fitness_mejor_individuo
  resultados_individuo[[i]] <- colnames(x)[mejor_individuo]
}

```

```

# SE CALCULA LA MEJORA RESPECTO A LA GENERACIÓN ANTERIOR
# =====
# El porcentaje de mejora solo puede calcularse a partir de la segunda
# generación.
if(i > 1){
  porcentaje_mejora[[i]] <- 1 - (resultados_fitness[[i]] /
                                resultados_fitness[[i-1]])
}

# NUEVA POBLACION
# =====
nueva_poblacion <- matrix(data = NA,
                          nrow = nrow(poblacion),
                          ncol = ncol(poblacion))

# ELITISMO
# =====
# El elitismo indica el porcentaje de mejores individuos de la población
# actual que pasan directamente a la siguiente población. De esta forma, se
# asegura que, la siguiente generación, no sea nunca inferior.

if(elitismo > 0){
  n_elitismo <- ceiling(nrow(poblacion)*elitismo)
  posicion_n_mejores <- order(fitness_ind_poblacion, decreasing = TRUE)
  posicion_n_mejores <- posicion_n_mejores[1:n_elitismo]
  nueva_poblacion[1:n_elitismo, ] <- poblacion[posicion_n_mejores, ]
}else{
  n_elitismo <- 0
}

# CREACIÓN DE NUEVOS INDIVIDUOS POR CRUCES
# =====
for (j in (n_elitismo + 1):nrow(nueva_poblacion)) {
  # Seleccionar parentales
  metrica <- ifelse(test = is.numeric(y), "mse", "accuracy")
  indice_parental_1 <- seleccionar_individuo(vector_fitness=fitness_ind_poblacion,
                                             metrica=metrica)
  indice_parental_2 <- seleccionar_individuo(vector_fitness=fitness_ind_poblacion,
                                             metrica=metrica)
  parental_1 <- poblacion[indice_parental_1, ]
  parental_2 <- poblacion[indice_parental_2, ]

  # Cruzar parentales para obtener la descendencia
  descendencia <- cruzar_individuos(parental_1 = parental_1,
                                    parental_2 = parental_2)

  # Mutar la descendencia
  descendencia <- mutar_individuo(individuo = descendencia,
                                  prob_mut = prob_mut)
}

```

```

# Almacenar el nuevo descendiente en la nueva población: puede ocurrir que
# el individuo resultante del cruce y posterior mutación no contenga ningún
# predictor (todas sus posiciones son FALSE). Si esto ocurre, y para evitar
# que se produzca un error al ajustar el modelo, se introduce aleatoriamente
# un valor TRUE.
if(all(descendencia == FALSE)){
  descendencia[sample(x = 1:length(descendencia), size = 1)] <- TRUE
}
nueva_poblacion[j,] <- descendencia
}
poblacion <- nueva_poblacion

# CRITERIO DE PARADA
# =====
# Si durante las últimas n generaciones el mejor individuo no ha mejorado por
# una cantidad superior a tolerancia_parada, se detiene el algoritmo y no se
# crean nuevas generaciones.

if(parada_temprana & (i > rondas_parada)){
  ultimos_n <- tail(unlist(porcentaje_mejora), n = rondas_parada)
  if(all(ultimos_n < tolerancia_parada)){
    print(paste("Algoritmo detenido en la generacion", i,
                "por falta de mejora mínima de", tolerancia_parada,
                "durante", rondas_parada,
                "generaciones consecutivas."))
    break()
  }
}
}

# RESULTADOS
# =====
# La función devuelve una lista con 4 elementos:
#   fitness:          una lista con el fitness del mejor individuo de cada
#                     generación.
#   mejor_individuo:   una lista con la combinación de predictores del mejor
#                     individuo de cada generación.
#   porcentaje_mejora: una lista con el porcentaje de mejora entre el mejor
#                     individuo de cada generación.
#   df_resultados:    un dataframe con todos los resultados anteriores.

# Para crear el dataframe se convierten las listas a vectores del mismo tamaño.
fitness      <- unlist(resultados_fitness)
predictores  <- resultados_individuo[!sapply(resultados_individuo, is.null)]
predictores  <- sapply(predictores, function(x){paste(x, collapse = ", ")})
mejora       <- c(NA, unlist(porcentaje_mejora))

```

```

df_resultados <- data.frame(
  fitness      = fitness,
  predictores  = predictores,
  mejora       = mejora
)
return(list(fitness      = resultados_fitness,
  mejor_individuo = resultados_individuo,
  porcentaje_mejora = porcentaje_mejora,
  df_resultados    = df_resultados)
)
}

```

## Comparación

Se compara el tiempo necesario para ejecutar el ejemplo del Titanic empleando paralelización y sin ella.

```

library(titanic)
library(dplyr)
# Se eliminan para este ejemplo 3 variables.
datos <- titanic_train %>% select(-Name, -Ticket, -Cabin)
datos <- na.omit(datos)
# Se convierten a factor las variables de tipo character.
datos <- datos %>% mutate_if(is.character, as.factor)
datos <- datos %>% mutate(Survived = as.factor(Survived))

```

## Sin paralelización

```

inicio <- Sys.time()
seleccion <- seleccionar_predictores(x = datos[, -2],
  y = datos[, 2],
  n_poblacion = 50,
  n_generaciones = 20,
  n_max_predictores = 8,
  n_min_predictores = 1,
  elitismo = 0.1,
  modelo = "rf",
  cv = 5,
  verbose = FALSE,
  parada_temprana = TRUE,
  rondas_parada = 5,
  tolerancia_parada = 0.01,
  paralelizado = FALSE
)

```

```
## [1] "Algoritmo detenido en la generacion 6 por falta de mejora mínima de 0.01
durante 5 generaciones consecutivas."
```

```
fin <- Sys.time()
tiempo_ejecucion <- fin-inicio
tiempo_ejecucion
```

```
## Time difference of 1.049898 mins
```

## Con paralelización

```
inicio <- Sys.time()
seleccion <- seleccionar_predictores(x = datos[, -2],
                                     y = datos[, 2],
                                     n_poblacion = 50,
                                     n_generaciones = 20,
                                     n_max_predictores = 8,
                                     n_min_predictores = 1,
                                     elitismo = 0.1,
                                     modelo = "rf",
                                     cv = 5,
                                     verbose = FALSE,
                                     parada_temprana = TRUE,
                                     rondas_parada = 5,
                                     tolerancia_parada = 0.01,
                                     paralelizado = TRUE
                                     )
```

```
## [1] "Algoritmo detenido en la generacion 6 por falta de mejora mínima de 0.01
durante 5 generaciones consecutivas."
```

```
fin <- Sys.time()
tiempo_ejecucion <- fin-inicio
tiempo_ejecucion
```

```
## Time difference of 31.91465 secs
```

Puede observarse que, para las mismas generaciones, la versión paralelizada tarda aproximadamente la mitad de tiempo.

## Bibliografía

John McCall, Genetic algorithms for modelling and optimisation, Journal of Computational and Applied Mathematics, Volume 184, Issue 1, 2005

[https://www.neuraldesigner.com/blog/genetic\\_algorithms\\_for\\_feature\\_selection](https://www.neuraldesigner.com/blog/genetic_algorithms_for_feature_selection)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Crossover\\_\(genetic\\_algorithm\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Crossover_(genetic_algorithm))



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).