



UNIVERSIDAD DE GRANADA

PROYECTO FIN DE DOBLE GRADO EN INGENIERÍA
INFORMÁTICA Y MATEMÁTICAS

Una estrategia para bolsa basada en algoritmos evolutivos y su implementación en una plataforma de trading

Miguel Ángel Torres López

supervisado por
Prof. Jose Manuel Zurita López

10 de julio de 2019

Resumen

Aquí va el resumen del tfg en español y las palabras clave.

Abstract

Here lies the tfg's abstract in english and the key words.

Índice

1. Introducción	4
1.1. Fundamentos de Bolsa	4
1.1.1. Mercado de valores	4
1.1.2. El valor de las acciones	4
1.1.3. Corredores de bolsa o brokers	6
1.2. Plataformas de Trading	6
1.2.1. MetaTrader5	6
1.2.2. Backtrader	7
1.2.2.1. Instalación	7
1.2.2.2. Preparación del entorno	8
1.2.2.3. La primera estrategia	9
1.2.3. Otras plataformas	12
1.3. Conseguir datos históricos para realizar backtesting	13
1.3.1. Quandl	13
1.3.2. YAHOO! Finance	14
1.4. Algoritmos genéticos	15
1.4.1. Definición	15
1.4.1.1. Población	16
1.4.1.2. Función fitness	17
1.4.1.3. Selección	17
1.4.1.4. Cruce	18
1.4.1.5. Mutación	19
1.4.2. Pyvolution	20
1.5. Árbol de Decisión	21
1.5.1. Definición	21
1.5.1.1. Etiquetado	22
1.5.1.2. Conjunto de entrenamiento	22

1. Introducción

1.1. Fundamentos de Bolsa

1.1.1. Mercado de valores

El mercado de valores o bolsa, es un tipo de mercado en el que se compran y venden productos bursátiles. Para este trabajo, prestaremos principal atención a las acciones, el producto bursátil más simple de un mercado de valores.

Una acción corresponde con una pequeña participación en la empresa a la que pertenezca la acción. De esta forma, inversores privados tiene la posibilidad de comprar porciones de empresas. Por ejemplo, si una empresa está dividida en 200 acciones, tras comprar 50 de estas, seríamos propietarios de una cuarta parte de la empresa. Esto puede reportarnos beneficios de distinta índole según las normas de la empresa. En ocasiones algunas empresas deciden repartir una determinada cantidad de dinero entre sus accionistas en relación a las ganancias obtenidas en un periodo (dividendo). Otras veces, ser poseedor de una gran parte de la empresa nos otorgará derechos dentro de la misma, como por ejemplo participar en las decisiones importantes que se tomen.

El mercado de valores español abre de 9:00 a 17:30 de lunes a viernes. Cabe destacar que hay una aleatoriedad de 30 segundos y que, además, después del cierre hay un periodo de subasta de 5 minutos para evitar manipulaciones de los precios. No vamos a entrar en como funciona este sistema.

1.1.2. El valor de las acciones

El valor de una acción no es fijo, va cambiando según la oferta y la demanda de las acciones de la empresa. Esto convierte a las acciones en un producto muy conveniente para especular.

El mecanismo de compra y venta es el que define el valor de una acción. Para comprar o vender, un inversor debe enviar a bolsa una orden de compra o venta, respectivamente. Tras enviar la orden, esta queda registrada y será ejecutada cuando sea posible. Aclaremos esto con un ejemplo sencillo:

Supongamos que existe una empresa que tiene en el mercado cuatro acciones. Cada una de ellas pertenece a un propietario distinto, llamémosles A, B, C y D.

A tiene una orden de venta de su acción a 4 euros y C tiene una orden de compra de una acción a 1 euro. En esta situación ninguno puede vender ni

comprar y el precio está situado en 4 euros por acción. Ahora bien, B decide vender su acción por 3 euros. En el momento en el que realiza una orden de venta, el precio de las acciones baja a 3 euros. Esto no quiere decir que A venda su acción a este precio. Para bajar de 4 a 3 euros debería cancelar la orden y realizar una nueva. En esta situación no se puede ejecutar ninguna orden en el mercado, como se puede ver en la figura 1.

Órdenes de compra	Precio (euros)	Órdenes de venta
	5	
	4	1
	3	1
	2	
1	1	

Figura 1: Situación de las ordenes

Tras ver que el precio de la acción a bajado de 4 a 3 euros, el inversor D decide comprar y sitúa una orden de compra a 3 euros de una acciones. Entonces, la orden de venta de C y la orden de compra de D pueden ejecutarse. Ahora D pasa a tener 2 acciones y el mercado se queda con las dos órdenes de A y B, provocando que el precio de la acción vuelva a subir a 4 euros.

Además de las órdenes vistas en el ejemplo, existen otras un poco más complejas:

- **Orden de mercado.** Se compran todas las acciones que se emitan en la orden al mejor precio posible. En caso de compra a los precios más bajos, en caso de venta a los precios más altos. Si B hubiera emitido una orden de mercado de una acción, habría comprado la acción de A a 4 euros.
- **Orden limitada.** Se compran todas las acciones que se emitan en la orden siempre y cuando su precio esté situado en el límite establecido. Si D hubiera emitido una orden limitada a 3 euros de dos acciones, hubiera comprado por 3 euros la acción de C pero no la de A, que está a 4 euros. La orden permanece vigente hasta que la suma de las acciones sea comprada.

- **Orden on Stop.** No se hace efectiva hasta que el precio de las acciones llega al precio de la orden. En ese momento, la orden se convierte en una orden de mercado.
- **Orden Stop-Limit.** Este tipo de orden no se hace efectiva hasta que el precio de las acciones llega al precio de la orden. En ese momento, la orden se convierte en una orden limitada. Es muy frecuente que las plataformas ofrezcan este tipo de orden, pues funciona como seguro para no perder todo el capital cuando las acciones caen de precio rápidamente y el inversor posee acciones de la empresa.

1.1.3. Corredores de bolsa o brokers

Para agilizar las transacciones en bolsa, no se permite que particulares envíen órdenes al mercado. Esta tarea se delega en los corredores de bolsa o *brokers*. La entidad de *broker* se encarga de captar inversores, colocar órdenes y presentar a compradores con vendedores. Para ser broker se debe aprobar un examen y demostrar que se tienen los conocimientos necesarios. Por este trabajo se lleva una comisión que todo inversor debe abonar.

Las comisiones pueden ser de dos tipos:

- **Comisiones fijas.** Son un valor fijo que cada broker cobra. Puede ser por transacción y por tiempo de servicio. Las comisiones fijas son beneficiosas para inversores con un gran capital.
- **Comisiones variables.** Son precios variables que dependen del país de inversión, la cantidad invertida e incluso el tiempo. Las comisiones variables afectan en misma medida a inversores grandes y pequeños.

La mayoría de los corredores de bolsa tienen comisiones mixtas. No corresponde a este trabajo discutir más allá sobre este tema. De ahora en adelante asumiremos unas comisiones variables.

1.2. Plataformas de Trading

1.2.1. MetaTrader5

Podemos observar que es una plataforma ampliamente usada, por tanto es fácil encontrar ejemplos iniciales o ayuda técnica. Se nos oferta en la página web de la plataforma¹ una demo gratuita con acceso a casi todos los recursos.

¹<https://www.metatrader5.com> [Última consulta 10 de Julio de 2019]

La programación de las estrategias se divide en varios archivos con unas especificaciones concretas. No obstante, existe una tienda empotrada en la plataforma para comprar y vender estrategias, índices o bibliotecas con otros usuarios. Cada producto está puntuada por los usuarios que la han usado.

A pesar de todas estas ventajas, no usaremos MetaTrader5 por ser de carácter privativo. Además, el lenguaje de programación de las estrategias es MQL5, un lenguaje propio de la plataforma que nos impide usar con facilidad bibliotecas externas.

1.2.2. Backtrader

Backtrader es un framework de libre licencia realizado en el lenguaje Python. La página web de la plataforma² contiene una amplia documentación en la que se explican todos los componentes del framework. Asimismo encontramos el método de instalación y un tutorial de iniciación.

El framework viene con indicadores ya programados, aunque te permite hacer más de forma manual. Para producir gráficos hay que instalar una librería adicional, esto no es problema porque viene integrado en la instalación como veremos.

1.2.2.1 Instalación

Pasamos ahora a su instalación. Necesitamos tener la versión 2.7 de Python, tal y como se indica en la documentación de backtrader³ que podemos encontrar en su página web. Para comprobar la versión podemos usar el comando *python -Version*. En caso de no tener instalado Python o no tener la versión indicada, podemos instalarlo usando *sudo apt-get install python2.7*.

El framework backtrader está disponible, desde el código fuente en Github. No obstante, también esta disponible para el instalador de paquetes de Python pip. Si no está instalado pip, podemos hacerlo con el comando *sudo apt-get install python-pip*.

Una vez llegados a este punto, podemos optar por una versión con posibilidad de generar gráficas o no. Para facilitar el análisis de resultados, instalaremos la versión con plotting con el comando *pip install backtrader[plotting]* como podemos ver en la figura 2. El mismo comando quitando la directiva

²<https://www.backtrader.com> [Última consulta 10 de Julio de 2019]

³<https://www.backtrader.com/docu/index.html> [Última consulta 10 de Julio de 2019]

[*plotting*] instala la versión sin gráficas.

```
miguel@miguelpc:~$ pip install backtrader[plotting]
Collecting backtrader[plotting]
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/...
  100% |#####| 419kB 2.4
Collecting matplotlib; extra == "plotting" (from backtrader[plotting])
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/...
  100% |#####| 12.6MB 14
Collecting pyparsing!=2.0.4,!=2.1.2,!=2.1.6,>=2.0.1 (from matplotlib)
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/...
  100% |#####| 61kB 6.6
Collecting backports.functools-lru-cache (from matplotlib)
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/...
  100% |#####| 102kB 8.1
Collecting subprocess32 (from matplotlib; extra == "plotting")
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/...
  100% |#####| 512kB 2.9
Collecting pytz (from matplotlib; extra == "plotting")
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/...
  100% |#####| 512kB 2.9
Collecting six>=1.10 (from matplotlib; extra == "plotting")
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/...
  100% |#####| 215kB 4.4
Collecting python-dateutil>=2.1 (from matplotlib; extra == "plotting")
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/...
  100% |#####| 952kB 1.7
Collecting kiwisolver>=1.0.1 (from matplotlib; extra == "plotting")
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/...
  100% |#####| 12.1MB 14
Collecting numpy>=1.7.1 (from matplotlib; extra == "plotting")
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/...
  100% |#####| 573kB 2.6
```

Figura 2: Resultado de instalar backtrader con plotting

Observamos que se han instalado otros paquetes adicionales. En concreto se ha instalado el paquete `numpy`, que más tarde nos será útil como herramienta matemática.

1.2.2.2 Preparación del entorno

Una de las estructuras de datos más comunes en `backtrader` son las líneas. Una línea no es más que un conjunto de pares ordenados por uno de los elementos de menor a mayor. Por ejemplo, al hablar de un valor de mercado tenemos 5 líneas: valor de apertura, valor de salida, valor máximo, valor mínimo y volumen de compra/venta.

Al acceder a cada línea hay que tener en cuenta que no usa la indexación de un vector en un lenguaje común. En su lugar, el índice 0 representa el instante actual y para acceder a instantes anteriores usaremos índices negativos, por ejemplo:

```
self.sma = SimpleMovingAverage(...)
valor_actual = self.sma[0]
valor_instante_anterior = self.sma[-1]
```

Antes de ver como crear una estrategia, vamos a ver como podemos si-

mular una prueba introduciendo unos datos y un presupuesto inicial. Para ello, en un archivo con formato py para que podamos ejecutar con Python escribimos el siguiente código:

```
from __future__ import (absolute_import, division, print_function, unicode_literals)

import datetime
import os.path
import sys
import backtrader as bt # Importar todas las herramientas de backtrader

if __name__ == '__main__':
    cerebro = bt.Cerebro()

# Crear un paquete de datos
    data = bt.feeds.YahooFinanceCSVData(
        dataname='YAHOO', # Ruta absoluta donde se encuentran los datos descargados de YAHOO! Finance
# Fecha inicial de los datos
        fromdate=datetime.datetime(2000, 1, 1),
# Fecha final de los datos
        todate=datetime.datetime(2000, 12, 31),
        reverse=False)

# Activar los datos en el cerebro
    cerebro.adddata(data)
# Establecer dinero inicial
    cerebro.broker.setcash(100000.0)

    print('Starting Portfolio Value: %.2f' % cerebro.broker.getvalue())
    cerebro.run() # EJECUTAR BACKTESTING (AHORA MISMO, SIN NINGUNA ESTRATEGIA)
    print('Final Portfolio Value: %.2f' % cerebro.broker.getvalue())
```

Notemos que se trata de una archivo Python en el que solo hemos tenido que importar el paquete *backtrader*. Por tanto, en el caso de necesitar otros paquetes para realizar nuestra estrategia, solo tenemos que incorporarlos de forma habitual.

En este ejemplo, no le hemos especificado a la clase *cerebro* cuál va a ser la estrategia a seguir. Por este motivo, al hacer la simulación el presupuesto inicial y final no varían. Para ejecutar el backtesting simplemente se ejecuta el script de Python con el comando *python rutadelscript.py* en terminal. Nos dará un fallo, la ruta donde debería estar el fichero con los datos está vacía, pues no hemos descargado ningún archivo de datos. Este tema se abordará en la sección 1.3.

1.2.2.3 La primera estrategia

Antes de programar la primera estrategia de *trading*, vamos a ilustrar con una estrategia fútil cómo estructurar una clase para que backtrader pueda trabajar con ella como tal. La estructura básica es una clase con un método *__init__* y otro método llamado *next*.

El primero puede usarse para instanciar y agrupar los datos que requiere nuestra estrategia. El segundo método es llamado en cada instante por backtrader. Consideramos que un instante es cada una de las marcas temporales que hay registradas en nuestros datos. Así pues, los datos recogidos

en `__init__` son la referencia para llamar al método *next*. Cabe destacar que en cada llamada al segundo método solo son accesibles los datos con marcas temporales menores o iguales al instante correspondiente a la llamada.

Veamos un ejemplo:

```
# Crear una estrategia
class TestStrategy(bt.Strategy):

    def log(self, txt, dt=None):
        dt = dt or self.datas[0].datetime.date(0)
        print('%s, %s' % (dt.isoformat(), txt))

    def __init__(self):
        # Guarda una referencia de la línea de valores de cierre
        self.dataclose = self.datas[0].close

    def next(self):
        # Muestra por pantalla el valor de cierre
        self.log('Close, %.2f' % self.dataclose[0])
```

Al ejecutar esta estrategia, veremos el valor de cierre de cada instante y, si los datos lo facilitan, la marca temporal asociada a cada instante.

Para activar la estrategia es necesario indicar al *cerebro* la clase creada con la siguiente línea, que puede ser situada justo después de indicar el presupuesto inicial.

```
# Registrar estrategia
cerebro.addstrategy(TestStrategy)
```

La estrategia está completa, pero no realizamos ninguna compra ni venta. Para nuestro posterior estudio es imprescindible introducir estas acciones, sin embargo, por motivos de espacio y tiempo, no entraremos en profundidad en todos los aspectos de la compraventa. Veamos el código de una nueva táctica de inversión que nos muestra el funcionamiento de las órdenes bursátiles:

```
class DoubleDownStrategy(bt.Strategy):

    def log(self, txt, dt=None):
        dt = dt or self.datas[0].datetime.date(0)
        print('%s, %s' % (dt.isoformat(), txt))

    def __init__(self):
        self.dataclose = self.datas[0].close

        # Para mantener las ordenes no ejecutadas
        self.order = None

    def notify_order(self, order):
        if order.status in [order.Submitted, order.Accepted]:
            return

        if order.status in [order.Completed]:
            if order.isbuy():
                self.log('BUY EXECUTED, %.2f' % order.executed.price)
            elif order.issell():
                self.log('SELL EXECUTED, %.2f' % order.executed.price)

            self.bar_executed = len(self)

        elif order.status in [order.Canceled, order.Margin, order.Rejected]:
            self.log('Order Canceled/Margin/Rejected')

        self.order = None

    def next(self):
        self.log('Close, %.2f' % self.dataclose[0])
        # Si hay una compraventa pendiente no puedo hacer otra
        if self.order:
```

```

        return

# Si no tengo nada adquirido
if not self.position:
    if self.dataclose[0] < self.dataclose[-1]:
        if self.dataclose[-1] < self.dataclose[-2]:
            self.log('BUY CREATE, %.2f' % self.dataclose[0])
            self.order = self.buy()
    else:
        # Ya hemos adquirido algo
        if len(self) >= (self.bar.executed + 5):
            self.log('SELL CREATE, %.2f' % self.dataclose[0])
            self.order = self.sell()

```

Aquí introducimos varios nuevos conceptos del framework. En primer lugar, las acciones *self.buy()* y *self.sell()* ejecutadas dentro del método *next* indican que queremos lanzar una orden de compra o de venta, respectivamente. Cuando no se especifica, backtrader compra o vende al precio de cierre del instante actual una acción. Esto no quiere decir que la orden se ejecute en ese instante, si no que, a partir de ese momento y si el precio del producto lo permite, se realizará. Notar que una vez lanzada una orden hay que esperar a que se complete o se cancele antes de lanzar otra.

Esta situación hace necesario incluir el método *notify_order*. Como su propio nombre sugiere, es llamado cuando una orden cambia de estado. En este ejemplo, cuando una orden es completada, mostramos por pantalla si es era de compra o venta y el precio de la misma. Las ordenes pueden ser canceladas o rechazadas. Un ejemplo de este hecho sería intentar comprar con un presupuesto insuficiente.

Por último, comentaremos la parte lógica de la estrategia. En cada instante, el método *next* evalúa alguno de los siguientes casos:

- **Existe una compraventa lanzada y no terminada.** En este caso debemos esperar. Notar que backtrader permite cancelar una orden, aunque no entraremos en este punto.
- **No hay una orden lanzada y tampoco tengo nada comprado.** Esto puede comprobarse con *self.position*, que devuelve negativo si no se tiene nada en posesión. En esta situación solo cabe esperar una orden de compra y para este ejemplo la lanzaremos si los últimos dos instantes han bajado su precio de cierre.
- **No hay una orden lanzada pero tengo algo comprado.** Para ilustrar una nueva herramienta, vamos a lanzar una orden de venta 5 instantes después de haber comprado. Para ello podemos comprobar la longitud de *self* con la función *len* de Python.

1.2.3. Otras plataformas

- **Tradestation** permite programar estrategias, pero no hacer *backtesting*. Además no es de acceso gratuito.
- **Cloud9trader** tiene una demo que permite programar estrategias y hacer *backtesting*. Está bien para probar estrategias sencillas basadas en indicadores ampliamente conocidos. No obstante, la programación hay que hacerla en la ventana del navegador, con un lenguaje propio y sin posibilidad de usar paquetes externos.
- **Plus500** es una plataforma de trading con escasas posibilidades de automatización. Tan solo permite algunas órdenes sencillas condicionales preprogramadas.
- **PyAlgoTrade** es un proyecto desarrollado en Python disponible en Github. Tiene posibilidad de *backtesting*, utilizar paquetes externos y, en el caso de estar haciendo *trading* con Bitcoins, comprar y vender estos. Los datos del mercado hay que conseguirlos de forma externa en formato CSV.

1.3. Conseguir datos históricos para realizar backtesting

En esta sección veremos como conseguir archivos de los valores históricos en bolsa de diferentes empresas. A parte de conseguir los ficheros, vamos a incorporar los datos a backtrader para su posterior uso.

1.3.1. Quandl

Quandl es una empresa que reúne miles de paquetes de datos financieros de todo el mundo. Para acceder a esta información es necesario registrarse en su página web. Una vez tengamos acceso, es posible descargar muchos de los archivos en formato csv. Aunque quizás la opción más cómoda para este proyecto es utilizar la api que ofrece. De esta forma podemos realizar el acceso a los datos desde Python, sin necesidad de hacer una descarga previa a la ejecución del script.

Para usar la api seguiremos los pasos de instalación que se pueden encontrar en la documentación⁴ de Quandl. Instalamos el paquete quandl con el gestor de paquetes pip. Para usar el paquete quandl, debemos indicar a Quandl la *api_key* que nos dan al inscribirnos en su página.

```
# Crear un paquete de datos con QUANDL
data = bt.feeds.Quandl(
    dataset='WFE',
    fromdate = datetime.datetime(2016,1,1),
    todate = datetime.datetime(2017,1,1),
    dataname='INDEXES_BMESPANISHEXCHANGESMADRID',
    buffered=True,
    apikey='')
```

No obstante, como puede verse en la figura 3 backtrader tiene algún error interno al usar esta api. Probablemente, como en este foro de la comunidad se apunta⁵, se debe a una mala lectura de los vectores de datos recibidos.

⁴<https://docs.quandl.com/docs/python-installation> [Última consulta 10 de Julio de 2019]

⁵<https://community.backtrader.com/topic/797/quandl-data-feed-futures-data> [Última consulta 10 de Julio de 2019]

```

miguel@miguelpc:/media/miguel/10BC63AFBC638DD2/Universidad/TFG/Backtrader Strategies$ python basic.py
Starting Portfolio Value: 100000.00
Traceback (most recent call last):
  File "basic.py", line 35, in <module>
    cerebro.run() # EJECUTAR BACKTESTING (AHORA MISMO, SIN NINGUNA ESTRATEGIA)
  File "/home/miguel/.local/lib/python2.7/site-packages/backtrader/cerebro.py",
line 1127, in run
    runstrat = self.runstrategies(literstrat)
  File "/home/miguel/.local/lib/python2.7/site-packages/backtrader/cerebro.py",
line 1212, in runstrategies
    data.preload()
  File "/home/miguel/.local/lib/python2.7/site-packages/backtrader/feed.py", line
685, in preload
    while self.load():
  File "/home/miguel/.local/lib/python2.7/site-packages/backtrader/feed.py", line
476, in load
    loadret = self.load()
  File "/home/miguel/.local/lib/python2.7/site-packages/backtrader/feed.py", line
707, in _load
    return self._loadline(linetokens)
  File "/home/miguel/.local/lib/python2.7/site-packages/backtrader/feeds/quandl.
py", line 107, in _loadline
    o = float(linetokens[next(l)])
IndexError: list index out of range

```

Figura 3: Ejecución del script recolectando datos de Quandl.

1.3.2. YAHOO! Finance

Una de las opciones más completas para conseguir los datos es la página web de YAHOO! Finance (<https://finance.yahoo.com>). Basta con buscar el índice o la empresa sobre la que se quieren los datos, indicar las fechas y la frecuencia de muestreo y pinchar en el botón de descarga. Los datos se descargan en formato CSV. Este formato es ampliamente utilizado por la comunidad científica para almacenar grandes cantidades de datos.

The screenshot shows the Yahoo! Finance website interface. At the top, there's a search bar and navigation links. Below, there's a section for 'Banco Santander, S.A. (SAN)' with a current price of 5.51 and a change of -0.08 (-1.43%). The 'Historical Data' tab is selected, showing a table of prices from August 1, 2017, to August 1, 2018. The table includes columns for Date, Open, High, Low, Close, Adj Close, and Volume. A 'Download Data' button is present. A file explorer window titled 'Abriendo SAN.csv' is open, showing the file 'SAN.csv' (4.0 KB) and options to open it with LibreOffice Calc or save it.

Date	Open	High	Low	Close	Adj Close	Volume
Aug 01, 2018	5.57	5.58	5.50	5.51	5.51	3,748,435
Jul 31, 2018	5.65	5.66	5.58	5.59	5.59	4,867,900
Jul 30, 2018	5.55	5.59	5.54	5.58	5.58	4,204,600
Jul 30, 2018				0.075 Dividend		
Jul 27, 2018	5.57	5.64	5.57	5.60	5.53	6,781,600
Jul 26, 2018	5.54	5.56	5.51	5.55	5.48	8,878,900
Jul 25, 2018	5.55	5.56	5.47	5.53	5.46	7,196,600
Jul 24, 2018	5.54	5.55	5.51	5.52	5.45	10,322,900

Figura 4: Descarga de los datos históricos de Banco Santander.

Por ejemplo, imaginemos que buscamos los valores históricos de Banco Santander desde el 1 de agosto de 2017 hasta la misma fecha del año siguiente.

te. Para ello indicamos la empresa, nos vamos al apartado de *Historical Data* e indicamos las fechas. El resultado se muestra en la figura 4.

Para cargar estos datos en backtrader basta con indicar la ruta y el rango de fechas con el siguiente código:

```
# Crear un paquete de datos con YAHOO FINANCE
data = bt.feeds.YahooFinanceCSVData(
    dataname='Data/SAN.csv',
    fromdate=datetime.datetime(2017, 8, 1),
    todate=datetime.datetime(2018, 8, 1),
    reverse=False)

# Activar los datos en el cerebro
cerebro.adddata(data)
```

1.4. Algoritmos genéticos

La evolución es un proceso de optimización cuyo objetivo es la mejora continua de una habilidad o característica. Este proceso se observa en la mayoría de los seres vivos que, en un intento de adaptarse al medio y fortalecerse, cambian progresivamente.

Los algoritmos genéticos tienen como inspiración este comportamiento. Para hallar la solución óptima de un problema, se genera una población de soluciones, no necesariamente buenas. Se simula una descendencia de estas, es decir, nuevas soluciones del problema que se parecen a las anteriores y, mediante selección natural, se favorece la evolución de la solución hacia una mejora.

A continuación se ofrece una aproximación a los algoritmos genéticos. Un desarrollo más profundo puede encontrarse en otras obras⁶.

1.4.1. Definición

Un algoritmo genético se compone de cinco elementos básicos:

- **Población.** Un conjunto de soluciones del problema que queremos resolver. Su representación computacional definirá al resto de los elementos.
- **Función fitness o función de evaluación.** Una función cuyo dominio sea la población del problema y que tenga por imagen algún subconjunto de \mathbb{R} . Representa como de buena es una solución.

⁶Engelbrecht, A. P. (2007). *Computational intelligence: an introduction*. John Wiley & Sons.

- **Cruce.** Un proceso mediante el cual una o varias soluciones produzcan una o varias soluciones combinadas nuevas.
- **Mutación** Un proceso que actúe sobre un individuo de la población y le produce una transformación significativa. Este procedimiento no es imprescindible, pero ayuda a que las soluciones sigan variando tras muchas generaciones.
- **Selección.** Un criterio de eliminación que permite descartar individuos de la población.

1.4.1.1 Población

En la naturaleza, cada organismo tiene unas características concretas que influyen en su habilidad para sobrevivir y reproducirse. Estas características, en última instancia, se pueden representar por los cromosomas de dicho individuo. En un algoritmo genético se usa tradicionalmente la notación de cromosoma para referirse a la codificación de un individuo.

La representación clásica de un cromosoma es un vector de bits de dimensión fija.

En el caso de que el espacio de búsqueda sea discreto, cada individuo de la población se puede representar con un vector de longitud n donde 2^n es el número de valores posibles del espacio.

En el caso continuo, tomaremos \mathbb{R}^n como espacio de búsqueda y será necesario acotarlo, es decir, el dominio es de la forma

$$[x_{min_1}, x_{max_1}] \times \dots \times [x_{min_i}, x_{max_i}] \times \dots \times [x_{min_n}, x_{max_n}]$$

Mediante una representación binaria, por ejemplo la de coma flotante, de profundidad l podemos transformar cada $x = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$ en $b = (b_1, \dots, b_i, \dots, b_n)$ donde $\forall 0 < i \leq n \ b_i \in \{0, 1\}^l$. Esto nos permite trabajar con el caso continuo igual que con el caso discreto.

Por supuesto, esto es solo una propuesta clásica que se aplica a un caso genérico. Según el problema a tratar un individuo puede representarse de otras formas más convenientes.

Una vez que tenemos representado a un individuo, la población será un conjunto de estos. La cantidad de individuos de la población se puede variar a lo largo de la ejecución del algoritmo aunque, cuanto mayor sea el número de

individuos, mayor será el espacio de búsqueda inspeccionado y mejores serán los resultados. Eso si, pagaremos esta mejor búsqueda con un incremento del tiempo de ejecución. Así mismo, la calidad de la población en la primera generación determinará, en gran medida, la calidad de las generaciones posteriores.

1.4.1.2 Función fitness

En un modelo evolutivo, el individuo con mejores características tiene mayores posibilidades de sobrevivir. Con motivo de valorar como de bueno es un individuo de la población necesitamos una función matemática que nos cuantifique la bondad de este. Definimos la función *fitness* o función de evaluación como

$$f : \Gamma \rightarrow \mathbb{R}$$

donde Γ es el espacio donde se definen los individuos de la población.

Esta función debe evaluar cada individuo de cada generación luego, al tratarse de un algoritmo iterativo, conviene que la función no sea computacionalmente pesada. A menudo se usan aproximaciones de la función de evaluación real.

1.4.1.3 Selección

La selección es el operador básico de la evolución. Su objetivo es dar importancia a los individuos fuertes y aumentar su presencia. Se pueden aplicar operados de selección en dos momentos a lo largo del algoritmo:

- En la selección de la nueva generación, para filtrar los individuos más fuertes (hablando en términos de la función *fitness*).
- En el cruce de los individuos para producir una nueva generación. Es razonable que los individuos con mejores características tengan más posibilidades de tener descendientes en la próxima generación.

Existen multitud de formas de aplicar la selección, las más comunes son las siguientes.

Selección aleatoria

Cada individuo de la población tiene la misma probabilidad de salir elegido, $\frac{1}{s}$ donde s es el número de individuos.

Selección proporcional

La probabilidad de que un individuo sea seleccionado viene dado por la función $\varphi : \Gamma \rightarrow [0, 1]$ definida como

$$\varphi(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{j=1}^s f(x_j)}$$

Selección por torneo

Se extrae una muestra (con o sin devolución) de la población de tamaño k con $k < s$. Se selecciona entonces el individuo con mayor puntuación en la función *fitness*.

Selección basada en posición

En lugar de usar directamente la puntuación de la función *fitness*, se usa la posición respecto al resto de individuos de la población.

Se selecciona el elemento x_i donde $i = \text{Entera}(Z)$ y $Z \sim U(0, U(0, s))$ siendo U la distribución uniforme.

Selección con elitismo

En ciertos casos conviene mantener a los mejores individuos de una población. Esto asegurará que la nueva población tendrá algún individuo al menos tan bueno como en la generación anterior.

Seleccionar varios individuos para que permanezcan en la población suele ser una buena práctica.

1.4.1.4 Cruce

La reproducción es el proceso mediante el cual los individuos de una población generan la siguiente población. Un cruce es una operación que, dados uno o varios individuos padres, genera uno o varios individuos hijos que pasarán a la próxima generación.

La forma técnica de hacer un cruce depende directamente de la representación de los individuos. Vamos a presentar algunas formas de hacer cruces cuando tenemos representación binaria pura.

Cruce de un punto

Dados dos padres a cruzar, se toma un valor i donde $i = \text{Entera}(Z)$ y $Z \sim U(1, l - 1)$ con l la longitud del vector de bits que representa a un individuo.

Se generan entonces dos individuos. El primero tendrá los i primeros bits del primer padre y los $l - i$ últimos del segundo progenitor. El segundo indi-

viduo se genera con los bits que no se han tomado en el primero.

Cruce de dos puntos

Similar al cruce de un punto. La diferencia con este es que la parte que se toma del primer padre para el primer hijo viene dada por una subcadena de los bits del padre de inicio y final dos índices generados con una distribución uniforme, como venimos haciendo.

Notar que aleatorizar el final de la subcadena es equivalente a aleatorizar la dimensión de la misma. En ocasiones se puede optar por una subcadena de tamaño fijo.

Cruce uniforme

Es un procedimiento similar a los anteriores, solo que bit a bit. Se inicializa una máscara de tamaño l a 0. Por cada elemento de la máscara, se toma un valor de $X \sim U(0, 1)$, si $x > p$ entonces el valor de la máscara se actualiza a 1. El primer hijo tendrá los bits del primer padre que tengan 0 en la máscara y el resto del segundo padre. El segundo hijo se construye de forma contraria.

1.4.1.5 Mutación

El objetivo de las mutaciones es la introducción de nuevo material genético en la población, más allá de las combinaciones entre los individuos. Una mutación demasiado común o demasiado agresiva producirá que se pierda el factor evolutivo, no obstante, en determinadas dosis puede llegar a ser efectivo para explorar más en el espacio de búsqueda.

Al igual que en la sección de cruce, tenemos distintas variantes de esta operación basadas en la forma de escoger los bits a mutar.

Mutación uniforme

Dado un individuo, se seleccionan, a partir de una distribución uniforme, los bits a mutar. La mutación consiste en poner el valor contrario al original (0 si era 1 y 1 si era 0).

Mutación *inorder*

Similar a la anterior, pero los bits mutables son solo un subconjunto de los totales. Dicho subconjunto inmutable puede ser producto de una aleatorización o seleccionado manualmente si se quiere proteger una zona de este operador.

Mutación Gaussiana

Esta es una mutación basada en el método de ruido Gaussiano. Si se ha usado la codificación binaria de los individuos, es necesario volver al valor decimal que este representa.

Ahora se usa el método de ruido Gaussiano sobre el valor decimal, esto es, $x_j = x_j + N(0, \sigma_j)$ con N la distribución normal y $\sigma_j = x_j * 0,1$

Para concluir se devuelve la variable a la codificación binaria.

Con este último método se pueden proteger los cambios drásticos en los valores, ya que la distribución normal controla que no se cambien los bits más significativos en la codificación binaria.

1.4.2. Pyvolution

Pyvolution es un paquete de Python de algoritmos genéticos. Aunque la última versión fue lanzada en 2012, es un paquete completo y sencillo de utilizar. En apenas 30 líneas y sin necesidad de dar muchas especificaciones se pueden realizar algoritmos completos. Una ejecución normal consta de varios parámetros donde se pueden controlar las generaciones, los individuos por generación, probabilidad y severidad de las mutaciones, cantidad individuos elitistas e incluso el tiempo máximo de ejecución.

Para ilustrar brevemente su uso, muestro uno de los ejemplos que vienen en la página de Github del paquete⁷.

```
import math
from pyvolution.EvolutionManager import *
from pyvolution.GeneLibrary import *

"""
Queremos calcular una solución del siguiente sistema:
a + b + c - 17 = 0
a^2 + b^2 - 5 = 0
"""

def fitnessFunction(chromosome):
    """
    Dado un "cromosoma", esta es la función que calcula su puntuación
    La puntuación es una float mayor que 0.
    """

    #Accedemos a los cromosomas o valores a ajustar
    a = chromosome["a"]
    b = chromosome["b"]
    c = chromosome["c"]
    d = chromosome["d"]

    #Calculamos los valores que nos gustaria que fueran 0
    val1 = math.fabs(a + b + c - 17)
    val2 = math.fabs(math.pow(a, 2) + math.pow(b, 2) - 5)

    #La función distancia agrupa los valores para una mejor puntuación
    dist = math.sqrt(math.pow(val1, 2) + math.pow(val2, 2))

    if dist != 0:
        return 1 / dist # Cuanto menor sea la distancia mayor será la puntuación
```

⁷<https://github.com/little/pyvolution> [Última consulta 10 de Julio de 2019]

```

else:
    return None        #Devolver None indica que los cromosomas han sido ajustados

#Configuramos el algoritmo genetico
em = EvolutionManager(
    fitnessFunction,
    individualsPerGeneration=100,
    mutationRate=0.2,      #Probabilidad de mutacion
    maxGenerations=1000,
    stopAfterTime=10,      #Para simulacion tras 10 segundos
    elitism=2,             #Mantener los 2 mejores de cada generacion
)

#Creamos una funcion de mutacion inversamente proporcional a la bondad del ajuste
mutator = FloatInverseFit("mut", maxVal=0.01, startVal=1)

#Indicamos que los puntos iniciales se toman siguiendo una distribucion normal
#de media 0 y desviacion 100. Ademas marcamos la mutacion como la definida antes.
atype = FloatGeneType("a", generatorAverage=0, generatorSTDEV=100, mutatorGene="mut")
btype = FloatGeneType("b", generatorAverage=0, generatorSTDEV=100, mutatorGene="mut")
ctype = FloatGeneType("c", generatorAverage=0, generatorSTDEV=100, mutatorGene="mut")

#Registramos los parametros y la mutacion
em.addGeneType(mutator)
em.addGeneType(atype)
em.addGeneType(btype)
em.addGeneType(ctype)

#Ejecutamos
result = em.run()

```

1.5. Árbol de Decisión

Los árboles se utilizan en diversos campos de la informática y, en concreto, en la toma de decisiones y/o predicciones. A pesar de que son difíciles de representar y visualizar de forma global, resultan una herramienta muy útil para separar situaciones o datos según una serie de condiciones dadas previamente.

1.5.1. Definición

Un grafo simple es un grafo sin lazos ni aristas múltiples entre sus vértices. Un árbol es un grafo simple G tal que para cada dos vértices de G existe un único camino simple entre ellos.

Un árbol de decisión será, por tanto, un árbol compuesto por:

- Un vértice especial, llamado nodo raíz, que se considera el inicio del camino de decisión.
- Un conjunto de vértices, llamados nodos, conectados con al menos otros 2 vértices. En cada nodo hay una condición. La verificación de dicha condición determina que nodo es el siguiente en el camino de decisión.
- Un conjunto de vértices, llamados hojas o nodos terminales, conectados con un único vértice. En cada hoja hay una clasificación del dato que cumple todas las condiciones que tienen los nodos del camino desde la raíz hasta la hoja.

El objetivo de un árbol de decisión es, por tanto, clasificar datos de una determinada naturaleza según una serie de condiciones. La construcción de dicho árbol y la elección de las condiciones las veremos en los siguientes apartados.

1.5.1.1 Etiquetado

Para poder clasificar un dato, es necesario saber cuáles son las posibles clasificaciones o, como se suele nombrar, cuales son las clases. Esta clase viene dada por la etiqueta o *tag*.

En el caso que nos ocupa, el *trading* en bolsa, no se tiene una clasificación natural. Crear estas clases de manera que representen un buen momento para comprar o vender será objeto de estudio en nuestro trabajo.

1.5.1.2 Conjunto de entrenamiento

Una vez que la estructura del árbol esta hecha es sencillo clasificar un dato. Basta con ir comprobando las condiciones de cada nodo y continuar el recorrido del grafo según los resultados de estas. Cuando una condición nos dirija a una hoja, encontraremos la clase predicha para ese dato concreto. Pero, ¿cómo podemos crear el árbol?

Aquí entra en juego el conjunto de entrenamiento. Un conjunto de entrenamiento es un compendio de datos, de la misma naturaleza que los que queremos clasificar, de los que ya sabemos su clase real. Por tanto, a partir de este conjunto, deberemos inducir un árbol de decisión cuyas hojas clasifiquen bien los datos conocidos. De esta forma, si los datos con clase desconocida tienen una procedencia parecida a los datos del conjunto de entrenamiento, serán correctamente clasificados. O al menos esta es la intención.

Bibliografía

- Bonde, G. & Khaled, R. (2012). Stock price prediction using genetic algorithms and evolution strategies. In *Proceedings of the International Conference on Genetic and Evolutionary Methods (GEM)* (p. 1). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).
- Engelbrecht, A. P. (2007). *Computational intelligence: an introduction* (segunda edición). Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Esfahanipour, A. & Mousavi, S. (2011). A genetic programming model to generate risk-adjusted technical trading rules in stock markets. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 7911-9052.
- Kampouridis, M. & Otero, F. E. (2017). Evolving trading strategies using directional changes. *Expert Systems with Applications*, 73, 145-160.
- Koza, J. R. & Koza, J. R. (1992). *Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection*. MIT press.
- Luke, S. (2013). *Essentials of Metaheuristics* (segunda edición). Disponible en <https://cs.gmu.edu/~sean/book/metaheuristics/Essentials.pdf>. Lulu.
- Mousavi, S., Esfahanipour, A. & Zarandi, M. H. F. (2014). A novel approach to dynamic portfolio trading system using multitree genetic programming. *Knowledge-Based Systems*, 66, 68-81.
- Rouwhorst, S. E. & Engelbrecht, A. (2000). Searching the forest: Using decision trees as building blocks for evolutionary search in classification databases. 1, 633-638. Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary Computation.
- Sheta, A., Faris, H. & Alkasassbeh, M. (2013). A genetic programming model for S&P 500 stock market prediction. *International Journal of Control And Automation*, 6(5), 303-314.