2.4 Algo de Programación

Tipos de datos Dependiendo del lenguaje (véase [12], [13], [14] y [15]), la implementación del mismo y la arquitectura en la que se compile/ejecute el programa, se tienen distintos tipos de datos, pero los básicos son[15]:

- char, 8 bits, rango de -128 a 127
- unsigned char, 8 bits, rago de 0 a 255
- int, 16 bits, rango de -32,768 a 32,767
- unsigned int, 16 bits, rango de 0 a 65,535
- long int, 32 bits, rango de -2,147,483,648 a 2,147,483,647
- long, 64 bits, rango de -9,223,372,036,854,775,808 a 9,223,372,036,854,775,807
- float, 32 bits, rango de -3.4x10^{38} a 3.4x10^{38}, con 14 dígitos de precisión
- double, 64 bits, rango de -1.7x10^{308} a 1.7x10^{308}, con 16 dígitos de precisión
- long double, 80 bits, 3.4x10^{-4932} a 3.4x10^{4932}, con 18 dígitos de precisión
- boolean, 1 bit, rango de True o False

La conversión entre los diferentes tipos de datos esta en función del lenguaje y existe una perdida de datos si se hace de un tipo de dato que no "quepa" en el rango del otro; estos y otros errores de programación han generado graves errores en el sistema automatizado de control que han desembocado por ejemplo en, misiones fallidas de cohetes espaciales y su carga en numerosas ocasiones[16], la quiebra de la empresa Knight Capital 2012, sobredosis de radioterapia en 1985 a 1987, la desactivación de servidores de Amazon en el 2012, el apagón en el noreste de EE.UU. en el 2003, fallo en el sistema de reserva de vuelos de American Airlines en el 2013, fallo en el sistema de misiles estadounidense Patriot en Dhahran en el 1991, etc.

[15] La precedencia de los operadores básicos son: $=$ el de mayor procedencia, siguen $-$ y $+$ unario, luego $*, /, \%$ y finalmente los operadores $+$ y $-$.

[16] Una de las pérdidas, fue el satélite mexicano Centenario en mayo del 2015.

Aritmética de Punto Flotante La aritmética de punto flotante es considerada un tema esotérico para muchas personas. Esto es sorprendente porque el punto flotante es omnipresente en los sistemas informáticos. Casi todos los lenguajes de programación tienen un tipo de datos de punto flotante, i.e. los números no enteros como 1.2 ó $1e + 45$.

Los problemas de precisión del punto flotante son una preocupación crítica en la informática y la computación numérica, donde la representación y manipulación de números reales puede conducir a resultados inesperados y erróneos. Estos obstáculos surgen debido alas limitaciones inherentes de la aritmética de punto flotante, que aproxima números reales con una precisión finita.

Esto puede causar problemas importantes en diversas aplicaciones, desde simulaciones científicas hasta cálculos financieros, donde incluso las imprecisiones menores pueden propagarse y amplificarse, dando lugar a errores sustanciales. Comprender estos obstáculos es esencial para que los desarrolladores, ingenieros y científicos implementen algoritmos numéricos sólidos y confiables, garantizando que las matemáticas realizadas por las computadoras sigan siendo confiables y precisas.

Comprensión de los Errores de Redondeo en Aritmética de Punto Flotante El meollo de la cuestión es la representación de números de punto flotante. Las computadoras utilizan una cantidad finita de bits para almacenar estos números, y generalmente cumplen con el estándar IEEE 754[17]. Este estándar define cómo se almacenan los números en formato binario, con un número fijo de bits asignados para el signo, el exponente y la mantisa. Si bien esto permite representar una amplia gama de valores, también impone limitaciones a la precisión. No todos los números decimales se pueden representar exactamente en forma binaria, lo que genera pequeñas discrepancias conocidas como errores de redondeo.

Una de las primeras cosas que uno encuentra con sorpresa cuando hace cálculos en una computadora es que por ejemplo, si usamos números muy grandes y seguimos incrementando su valor eventualmente el resultado será negativo ... ¿qué pasó? Esto se llama desbordamiento aritmético al intentar crear un valor numérico que está fuera del rango que puede representarse

[17] El estándar IEEE 754-2008 define varios tamaños de números de punto flotante: media precisión (binary16), precisión simple (binary32), precisión doble (binary64), precisión cuádruple (binary128), etc., cada uno con su propia especificación.

con un número dado de dígitos, ya sea mayor que el máximo o menor que el mínimo valor representable. Algo similar pasa al restar al menor número representable en la máquina, el resultado será positivo y se denomina subdesbordamiento.

Por otro lado, tenemos errores de redondeo, estos ocurren porque el sistema binario no puede representar con precisión ciertas fracciones. Por ejemplo, el número decimal 0.1 no se puede representar exactamente en binario, lo que da como resultado una aproximación, por ejemplo al sumar 0.1 + 0.2 en una computadora usando por ejemplo el lenguaje Python obtenemos:

```
print(0.1+0.2)
0.30000000000000004
```

que no es exactamente lo que esperábamos[18]. Cuando se utilizan tales aproximaciones en los cálculos, los errores pueden acumularse. Este fenómeno es particularmente problemático en procesos iterativos, donde el mismo cálculo se realiza repetidamente y los errores se acumulan con el tiempo.

Estos errores de precisión se vuelven particularmente problemáticos cuando se realizan controles de igualdad. En un mundo ideal, comparar la igualdad de dos números de punto flotante sería sencillo. Sin embargo, debido a los pequeños errores introducidos durante las operaciones aritméticas, dos números que deberían ser iguales pueden no ser exactamente iguales en su representación binaria.

Por ejemplo, el resultado de sumar 0.1 y 0.2 puede no ser exactamente igual a 0.3 debido a la forma en que estos números se representan en binario, por ejemplo:

```
if 0.1 + 0.2 == 0.3:
    print("si")
else:
    print("no")
```

la respuesta será "no". Esta discrepancia puede provocar que fallen las comprobaciones de igualdad, lo que provocará un comportamiento inesperado en los programas.

[18] Lo mismo obtenemos si usamos la multiplicación, por ejemplo:

```
print(0.1 * 3)
0.30000000000000004
```

Para mitigar estos problemas, los desarrolladores suelen utilizar una técnica conocida como "comparación épsilon". En lugar de verificar la igualdad exacta, verifican si la diferencia absoluta entre dos números de punto flotante es menor que un valor pequeño predefinido, conocido como épsilon. Este enfoque reconoce la imprecisión inherente de la aritmética de punto flotante y proporciona una forma más sólida de comparar números. Sin embargo, elegir un valor épsilon apropiado puede resultar complicado, ya que depende del contexto específico y del rango de valores involucrados.

El problema se ve exacerbado por la precisión finita de los números de punto flotante. Al realizar operaciones aritméticas, el resultado a menudo debe redondearse para que se ajuste a los bits disponibles. Este redondeo puede introducir más imprecisiones. Por ejemplo, sumar dos números de punto flotante de magnitudes muy diferentes puede provocar una pérdida de precisión, ya que el número más pequeño puede ignorarse de hecho. Esto se conoce como cancelación catastrófica y puede afectar gravemente a la precisión de los cálculos.

Por ejemplo, ¿qué podría tener de interesante la humilde fórmula cuadrática?. Después de todo, es una fórmula. Simplemente le pones números. Bueno, hay un detalle interesante. Cuando el coeficiente lineal b es grande en relación con los otros coeficientes, la fórmula cuadrática puede dar resultados incorrectos cuando se implementa en aritmética de punto flotante. Eso es cierto, pero veamos qué sucede cuando tenemos $a = c = 1$ y $b = 10e8$ en

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \text{ y } x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \tag{2.1}$$

regresa

$$x_1 = -7.450580596923828e - 09 \text{ y } x_2 = -100000000.0$$

La primera raíz está equivocada en aproximadamente un 25%, aunque la segunda es correcta.

¿Qué pasó? La ecuación cuadrática violó la regla cardinal del análisis numérico: evitar restar números casi iguales. Cuanto más similares sean dos números, más precisión puedes perder al restarlos. En este caso $(b^2 - 4ac)$ es casi igual a b. Si evaluamos, obtenemos $1.49e - 8$ cuando sería la respuesta correcta $2.0e - 8$.

Si usamos la otra formula[19]

$$x_1 = \frac{-2c}{b + \sqrt{b^2 - 4ac}} \text{ y } x_2 = \frac{-2c}{b - \sqrt{b^2 - 4ac}} \tag{2.2}$$

obtenemos

$$x_1 = -1e - 08 \text{ y } x_2 = -134217728.0$$

Entonces, ¿cuál formula cuadrática es mejor? Da la respuesta correcta para la primera raíz, exacta dentro de la precisión de la máquina. Pero ahora la segunda raíz está equivocada en un 34%. ¿Por qué la segunda raíz es incorrecta? La misma razón que antes: ¡restamos dos números casi iguales!

La versión familiar de la fórmula cuadrática calcula correctamente la raíz más grande y la otra versión calcula correctamente la raíz más pequeña. Ninguna versión es mejor en general. No estaríamos ni mejor ni peor usando siempre la nueva fórmula cuadrática que la anterior. Cada uno es mejor cuando evita restar números casi iguales. La solución es utilizar ambas fórmulas cuadráticas, utilizando la apropiada para la raíz que estás intentando calcular.

Otro error común es la suposición de que la aritmética de punto flotante es asociativa y distributiva, como lo es en matemáticas puras. En realidad, el orden de las operaciones puede afectar significativamente el resultado debido a errores de redondeo. Por ejemplo, la expresión (a+ b) + c puede producir un resultado diferente que a + (b + c) cuando se trata de números de punto flotante. Esta no asociatividad puede provocar errores sutiles, especialmente en algoritmos complejos que se basan en cálculos precisos.

Además, la aritmética de punto flotante puede introducir problemas en los algoritmos que requieren comparaciones exactas, como los que se utilizan en la clasificación o la búsqueda. Cuando los números de punto flotante se utilizan como claves en estructuras de datos como tablas hash o árboles de búsqueda binarios, los errores de precisión pueden provocar un comportamiento incorrecto, como no encontrar un elemento existente o insertar incorrectamente un duplicado. Para solucionar este problema, es posible que los desarrolladores necesiten implementar funciones de comparación personalizadas que tengan en cuenta la imprecisión del punto flotante.

Pasando a implicaciones prácticas, estos errores de redondeo pueden tener consecuencias de gran alcance. En las simulaciones científicas, pequeñas imprecisiones pueden dar lugar a predicciones incorrectas, lo que podría socavar

[19] Para obtener la segunda fórmula, multiplique el numerador y denominador de x_1 por $-b - \sqrt{b^2 - 4ac}$ (y de manera similar para x_2).

la validez de la investigación. En aplicaciones financieras, los errores de redondeo pueden dar lugar a importantes discrepancias monetarias, afectando todo, desde el análisis del mercado de valores hasta las transacciones bancarias. Incluso en aplicaciones cotidianas como la representación de gráficos, los errores de redondeo pueden causar artefactos visuales que restan valor a la experiencia del usuario.

Además, comprender las limitaciones de la aritmética de punto flotante puede ayudar a diseñar sistemas más robustos. Al anticipar dónde es probable que se produzcan errores de redondeo, los desarrolladores pueden implementar controles y equilibrios para detectar y corregir imprecisiones. Por ejemplo, la aritmética de intervalos puede proporcionar límites a los posibles valores de un cálculo, ofreciendo una manera de cuantificar la incertidumbre introducida por los errores de redondeo.

Estrategias para Mitigar los Problemas de Precisión del Punto Flotante en el Desarrollo de Software Los problemas de precisión del punto flotante son un desafío común en el desarrollo de Software y a menudo conducen a resultados inesperados y errores sutiles. Estos problemas surgen debido a las limitaciones inherentes a la representación de números reales en formato binario, lo que puede provocar errores de redondeo y pérdida de precisión. Para mitigar estos obstáculos, los desarrolladores deben emplear una variedad de estrategias que garanticen la precisión numérica y la confiabilidad en sus aplicaciones.

Una estrategia eficaz es utilizar tipos de datos de mayor precisión cuando sea necesario. Si bien los tipos de punto flotante estándar como "flotante" y "doble" son suficientes para muchas aplicaciones, es posible que no proporcionen la precisión requerida para cálculos más sensibles. En tales casos, el uso de tipos de precisión extendidos, como "long double" en C++ o bibliotecas de precisión arbitraria como GMP (Biblioteca aritmética de precisión múltiple GNU), puede reducir significativamente el riesgo de pérdida de precisión.

Sin embargo, es importante equilibrar la necesidad de precisión con consideraciones de rendimiento, ya que los tipos de mayor precisión pueden resultar costosos desde el punto de vista computacional. Otro enfoque consiste en implementar algoritmos numéricos que sean inherentemente más estables. Algunos algoritmos son más susceptibles a errores de redondeo que otros y elegir el algoritmo correcto puede marcar una diferencia significativa.

Por ejemplo, al resolver sistemas de ecuaciones lineales, utilizar méto-

dos como la descomposición LU o la descomposición QR puede ser más estable que la eliminación gaussiana. Además, se pueden emplear técnicas de refinamiento iterativo para mejorar la precisión de la solución corrigiendo iterativamente los errores introducidos por la aritmética de punto flotante.

Los desarrolladores deben tener en cuenta el orden de las operaciones en sus cálculos. Las propiedades asociativas y distributivas de la aritmética no siempre se cumplen en la aritmética de punto flotante debido a errores de redondeo. Por lo tanto, reorganizar el orden de las operaciones a veces puede conducir a resultados más precisos. Por ejemplo, al sumar una gran cantidad de números de punto flotante, sumarlos en orden de magnitud ascendente puede minimizar la acumulación de errores de redondeo. Esta técnica, conocida como suma de Kahan, ayuda a preservar la precisión al compensar los pequeños errores que ocurren durante el proceso de suma.

Además de estas estrategias, es fundamental realizar pruebas y validaciones exhaustivas del Software numérico. Las pruebas unitarias deben diseñarse para cubrir una amplia gama de valores de entrada, incluidos casos extremos que probablemente expongan problemas de precisión. Comparar los resultados de los cálculos de punto flotante con soluciones analíticas conocidas o utilizar aritmética de mayor precisión como referencia puede ayudar a identificar discrepancias.

Además, se puede realizar un análisis de sensibilidad para evaluar cómo pequeños cambios en los valores de entrada afectan la salida, proporcionando información sobre la estabilidad y confiabilidad de los algoritmos numéricos.

Por último, la documentación y la comunicación desempeñan un papel fundamental a la hora de mitigar los problemas de precisión del punto flotante. Los desarrolladores deben documentar las limitaciones y suposiciones de sus algoritmos numéricos, así como cualquier fuente potencial de error. Esta información es invaluable para otros desarrolladores que necesiten mantener o ampliar el Software. Además, una comunicación clara con las partes interesadas sobre la precisión esperada del Software puede ayudar a gestionar las expectativas y evitar mal entendidos.

Nombres de Variables Los nombres de las variables deben:

- Empezar por una letra y solo pueden contener letras, números y '_'.
- Las constantes se escriben en mayúsculas

Ejemplos para C, C++, Java

```
int numeroEntero = 5;
double numeroDecimal = 3.14;
boolean esEstudiante = true;
char inicial = 'J';
String nombre = "Juan"
```

Ejemplos para Python

```
Valid namescat_color = 'Brown'
number_of_threads = 8
phone_number = 78469334212
ISIN_CODE = 8479362
CONSTANT_SPEED = 9.8
```

Condicionales El flujo de programas a menudo tiene que dividirse. Es decir, si una condición se cumple, se hace algo, y si no, se hace otra cosa. Los enunciados condicionales permiten cambiar el comportamiento del programa de acuerdo a una condición dada, la estructura básica de un condicional es:

Pseudocódigo:

```
Si <condición> entonces
  <acción>
```

Ejemplo en C, C++ y Java[20]:

```
if (x > 0) x*= 10;
```

```
if (x > 0) {
  x *= 10;
}
```

Ejemplo en Python:

```
if x > 0:
  x = x * 10
```

[20]En condicionales, tienen mayor precedencia $<, >, >=, <=$, luego están $==$ y $!=$, finalmente && (AND) y || (OR).

La estructura completa del condicional es:
Pseudocódigo:

```
Si <condición> entonces
   <acción>
else
   <acción>
```

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
if (x % 2 == 0) x = x * x;
else x = x * 2;
```

```
if (x % 2 == 0) {
   x = x * x;
} else {
   x = x * 2;
}
```

Ejemplo en Python:

```
if x % 2 == 0:
   x = x * x
else:
   x = x * 2
```

La estructura condicional encadenada es:
Pseudocódigo:

```
Si <condición> entonces
   <acción>
else if
   <acción>
else
   <acción>
```

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
if (x < y) {
   z = x;
} else if (x > y) {
   z = y;
} else {
   z = 0;
}
```

Ejemplo en Python:

```
if x < y:
   z = x
elif[21] x > y:
   z = y
else:
   z = 0
```

Condicionales con operadores lógicos, tenemos dos operadores lógicos el AND (&&) y el OR (||), ejemplos:
Pseudocódigo:

```
Si <condición operador condición> entonces
   <acción>
else
   <acción>
```

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
if (x % 2 == 0 || x > 0) x = x * x;
else x = x * 2;
```

```
if (x % 2 == 0 && x > 0) {
   x = x * x;
} else {
   x = x * 2;
}
```

[21] elif es una contracción de "else if", sirve para enlazar varios "else if", sin tener que aumentar las tabulaciones en cada nueva comparación.

Ejemplo en Python:

```
if x % 2 == 0 and x > 0:
  x = x * x
else:
  x = x * 2
```

Bucle for La implementación de bucles mediante el comando *for* permite ejecutar el código que se encuentre entre su cuerpo mientras una variable se encuentre entre 2 determinados parámetros, la estructura básica es:

Pseudocódigo:

```
for <inicio; mientras; incremento/decremento> entonces
  <acción>
```

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
for (x = 0; x < 21; x++) {
  z = z + x;
}
```

Ejemplo en Python:

```
for x in range(0, 21):
  z = z + x
for i in range(1,3):
  if n == 3:
    break
else[22]
  print("no se encontro el numero 3")
```

[22] La instrucción *else* sólo se ejecutará si concluye normalmente el ciclo *for*, es decir, sin la interrupción por *break*. En este caso nunca se ejecutara el *print*.

Bucle for para navegar en por ejemplo Listas Si se tene una lista declarada, es posible hacer un recorrido en sus elementos usando *for*, por ejemplo:

Ejemplo en Java:

```
List<String> lista = new ArrayList<String>();
...
for (String elem : lista) {
    System.out.print(elem);
}
```

Ejemplo en Python:

```
lista = ["uno","dos","tres","cuatro"]
for elem in lista:
    print elem
```

Bucle while La implementación de bucles mediante el comando *while* permite ejecutar el código que se encuentre entre su cuerpo mientras una condición se cumple, la estructura básica es:

Pseudocódigo:

```
while <condición> entonces
  <acción>
```

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
while (z < 20) {
  z = z + x;
}
```

Ejemplo en Python:

```
while z < 20:
  z = z + x
else[23]
  print("concluyo")
```

[23] La instrucción *else* sólo se ejecutará si concluye normalmente el ciclo *while*, es decir, sin la interrupción por *break*. En este caso al terminar el *while* se ejecutara el *print*.

Bucle do-while La implementación de bucles mediante el comando *do-while* permite ejecutar el código que se encuentre entre su cuerpo y después revisa si se cumple la condición para continuar el ciclo, se puede usar *do-while* en C, C++ y Java, pero no esta presente en Python (pero siempre se puede usar un *while* para emularlo). La estructura básica es:

Pseudocódigo:

```
do
  <acción>
while <condición>
```

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
do {
  z = z + x;
} while (z < 20);
```

Condicional switch Cuando se requiere hacer un condicional sobre una variable y que esta tenga varias alternativas, una opción para evitar una cadena de sentencias *if-else*, se puede usar *switch* en C, C++ y Java, pero no esta presente en Python (siempre se puede usar *if-elif* para emularlo). La estructura básica es:

Pseudocódigo:

```
switch(expresion) {
  case constante:
    <acción>
    break;
  case constante:
    <acción>
    break;
  .
  .
  .
  default:
  <acción>
}
```

son opcionales los *break* y el *default*.

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
switch(i) {
   case 1:
      x=23;
   case 2:
      x ++;
      break;
   default:
   x=0;
}
```

Funciones una función es un bloque de código que realiza alguna operación. Los nombres de las funciones deben empezar por una letra y solo pueden contener letras, números y '_'.

Una función tiene tres componentes importantes:

- Los parámetros, que son los valores que recibe la función como entrada;
- El código de la función, que son las operaciones que hace la función; y
- El resultado (o valor de retorno), que es el valor final que entrega la función.

La siguiente función acepta dos enteros de llamada y devuelve su suma; a y b son parámetros de tipo int.

En el caso de C y C++:

```
int suma(int a, int b)
{
return a + b;
}
```

Las variables que son creadas dentro de la función (incluyendo los parámetros y el resultado) se llaman variables locales, y sólo son visibles dentro de la función, no desde el resto del programa. Por otra parte, las variables creadas

fuera de alguna función se llaman variables globales, y son visibles desde cualquier parte del programa.

No hay ningún límite práctico para la longitud de la función, pero el buen diseño tiene como objetivo las funciones que realizan una sola tarea bien definida. Los algoritmos complejos deben dividirse en funciones más sencillas y fáciles de comprender siempre que sea posible.

La función puede ser invocada, o llamada, desde cualquier lugar del programa. Los valores que se pasan a la función son los argumentos, cuyos tipos deben ser compatibles con los tipos de los parámetros en la definición de la función.

En el caso de C y C++:

```
int main()
{
int i = suma(10, 32);
int j = suma(i, 66);
printf("El valor de j es: ", j);
}
```

Para el caso de Python tenemos:

```
def sum (a, b):
    return a + b
i = sum(10, 32)
j = sum(i, 66)
print("El valor de j es: ", j)
```

Primer ejemplo Como ya se ha hecho costumbre, el primer ejemplo de un programa es: Hola Mundo, así que iniciemos con ello creando el archivo correspondiente *hola.ext*[24] en cualquier editor de texto o en un IDE, entonces:

Ejemplo en C:

```
#include <stdio.h>
int main(void) {
   printf("Hello World\n");
   return 0;
}
```

para compilarlo usamos *gcc* en línea de comandos mediante:

```
$ gcc hola.c -o hola
```

y lo ejecutamos con:

```
$ ./hola
```

Ejemplo en C++:

```
#include <iostream>
int main() {
   std::cout << "Hello World!\n";
}
```

para compilarlo usamos *g++* en línea de comandos mediante:

```
$ g++ hola.cpp -o hola
```

y lo ejecutamos con:

```
$ ./hola
```

[24] La extensión depende del lenguaje de programación, para el lenguaje C la extensión es .c, para el lenguaje C++ la extensión es .cpp, para el lenguaje Java la extensión es .java, para el lenguaje Python la extensión es .py.

Ejemplo en Java:

```
class hola {
   public static void main(String[] args) {
      System.out.println("Hello world!");
   }
}
```

para compilarlo usamos *javac* en línea de comandos mediante:

```
$ javac hola.java
```

y lo ejecutamos con:

```
$ java hola
```

Ejemplo en Python 2:

```
print "Hello World\n"
```

para compilarlo y ejecutarlo usamos *python2* en línea de comandos mediante:

```
$ python2 hola.py
```

Ejemplo en Python 3:

```
print ("Hello World\n")
```

para compilarlo y ejecutarlo usamos *python3* en línea de comandos mediante:

```
$ python3 hola.py
```

Un Ejemplo de Cálculo de Primos El algoritmo más simple, para determinar si un número es primo o compuesto, es hacer una serie de divisiones sucesivas del número, con todos los números primos menores que él, si alguna división da como residuo 0 o es divisible con el número entonces es compuesto en caso contrario es primo.

- Iniciamos con el número 4
- Verificamos si es divisible con los primos almacenados (iniciamos con 2 y 3)
- Si es divisible con algún número primo entonces es compuesto, en caso contrario es primo y este se guarda como un nuevo primo
- se incrementa uno al número y se regresa a verificar si es divisible entre los números primos almacenados, hasta encontrar por ejemplo los primeros mil primos

Ejemplo en C y C++:

```
#include <stdio.h>
// NPB Numero de primos a buscar
#define NPB 1000
int main ()
{
  int n, i, np;
  int p[NPB];
  // Guarda los primeros 2 primos
  p[0] = 2;
  p[1] = 3;
  np = 2;
  // Empieza la busqueda de primos a partir del numero 4
  n = 4;
  // Ciclo para buscar los primeros NPB primos
  while (np < NPB)
  {
    for (i = 0; i < np; i++)
    {
      if((n % p[i]) == 0) break;
```

```
        }
        if(i == np)
        {
          p[i] = n;
          np++;
        }
        n++;
      }
      // Visualiza los primos encontrados
      printf("\nVisualiza los primeros %d primos\n", NPB);
      for (i = 0; i < NPB; i++)
        printf("%d\n", p[i]);
      return 0;
    }
```

Ejemplo en Java:

```
    public class CalPrimos {
      public static void main(String[] args) {
        // NPB Numero de primos a buscar
        int NPB = 1000;
        int n, i, np;
        int p[] = new int[NPB];
        // Guarda los primeros 2 primos
        p[0] = 2;
        p[1] = 3;
        np = 2;
        // Empieza la busqueda de primos a partir del numero 4
        n = 4;
        // Ciclo para buscar los primeros NPB primos
        while (np < NPB) {
          for (i = 0; i < np; i++) {
            if((n % p[i]) == 0) break;
          }
          if (i == np) {
            p[i] = n;
            np++;
          }
```

```
            n++;
          }
          // Visualiza los primos encontrados
          System.out.println("Visualiza los primeros " + NPB + "
primos");
          for (i = 0; i < NPB; i++) System.out.println(p[i]);
        }
      }
```

Nótese que el algoritmo para buscar primos de los lenguajes C, C++ y el de Java son muy similares salvo la declaración de la función inicial y el arreglo que contendrá a los primos. Esto deja patente la cercanía entre dichos lenguajes y por que en este trabajo los presentamos en forma conjunta.

Ejemplo en Python:

```
def criba_Eratostenes(N):
  p = [] # inicializa el arreglo de primos encontrados
  # Guarda los primeros 2 primos
  p.append(2)
  p.append(3)
  np = 2
  # Empieza la busqueda de primos a partir del numero 4
  n = 4
  #Ciclo para buscar los primeros N primos
  while np < N:
    xi = 0
    for i in p:[25]
      xi = xi + 1
      if (n % i) == 0:
        break
    if xi == np:
      p.append(n)
      np = np + 1
    n = n + 1
   # Visualiza los primos encontrados
```

[25] En este código, al usar el *for* sobre los elementos del arreglo de primos, es necesario usar un contador para saber si ya se recorrieron todos los primos existentes y así determinar si es un nuevo primo y agregarlo a la lista.

```
    print("Visualiza los primeros " + str(N) + " primos ")
    for i in range(np):
      print(p[i])
    return p
# Solicita el calculo de los primeros primos
P = criba_Eratostenes(1000)
print(P)
```

Otro ejemplo en Python:

```
def criba_Eratostenes(N):
    p = [] # inicializa el arreglo de primos encontrados
    # Guarda los primeros 2 primos
    p.append(2)
    p.append(3)
    np = 2
    # Empieza la busqueda de primos a partir del numero 4
    n = 4
    #Ciclo para buscar los primeros N primos
    while np < N:
      for i in range(np):[26]
        if (n % p[i]) == 0:
          break
      if i == np-1:
        p.append(n)
        np = np + 1
      n = n + 1
     # Visualiza los primos encontrados
    print("Visualiza los primeros " + str(N) + " primos ")
    for i in range(np):
      print(p[i])
    return p
# Solicita el calculo de los primeros primos
P = criba_Eratostenes(1000)
print(P)
```

[26] Aquí, se hace el recorrido sobre el arreglo de primos usando la indexación sobre sus elementos, usando el número de elementos que se tiene mediante el uso del *for* con un *range*.

2.5 Introducción a los Paradigmas de Programación

La construcción de programas de cómputo -Software- puede involucrar elementos de gran complejidad, que en muchos casos no son tan evidentes como los que se pueden ver en otras Ciencias e Ingenierías. Un avión, una mina, un edificio, una red de ferrocarriles son ejemplos de sistemas complejos de otras Ingenierías, pero el programador construye sistemas cuya complejidad puede parecer que permanece oculta. El usuario siempre supone que en informática todo es muy fácil -"apretar un botón y ya esta"-.

Cuando se inicia uno en la programación, es común el uso de pequeños ejemplos, generalmente se programa usando una estructura secuencial -una instrucción sigue a la otra- en programas cortos[27], cuando los ejemplos crecen se empieza a usar programación estructurada[28] -que usa funciones- para después proseguir con ejemplos más complejos haciendo uso de la programación orientada a objetos -uso de clases y objetos- o formulaciones híbridas de las anteriores[29].

A continuación delinearemos estos paradigmas de programación:

Programación Secuencial es un paradigma de programación en la que una instrucción del código sigue a otra en secuencia también conocido como código espagueti. Las tareas se suceden de tal modo que la salida de una es la entrada de la siguiente y así sucesivamente hasta el fin del programa.

[27] Los ejemplos no son complejos, suelen estar construidos y mantenidos por una o pocas personas, son códigos de cientos o miles de líneas y tienen un ciclo de vida corto. Además, se puede construir aplicaciones alternativas en un período razonable de tiempo y no se necesitan grandes esfuerzos en anális y diseño.

[28] Al crecer la complejidad del Software a desarrollar, es muy difícil o imposible que un desarrollador o un grupo pequeño de ellos pueda comprender todas las sutilidades de su diseño, para paliar los problemas que conlleva el desarrollo de grandes y complejos sistemas informáticos surge la programación orientada a objetos.

[29] El surgimiento de la programación orientada objetos trata de lidiar con una gran cantidad de requisitos que compiten entre sí, incluso contradiciéndose, tienen desacoplamientos de impedancias entre usuarios del sistema y desarrolladores y es común la modificación de los requisitos con el paso del tiempo pues los usuarios y desarrolladores comienzan a compenetrarse mejor. Así, la programación orientada a objetos permite dirigir un equipo grande de desarrolladores, manejar una gran cantidad de código, usar estándares de desarrollo —al igual que en otras ingenierías— y verificar la fiabilidad de los estándares existentes en el mercado.

Programación Estructurada también llamada Procedimental, es un paradigma de programación orientado a mejorar la claridad, calidad y tiempo de desarrollo de un programa de computadora recurriendo únicamente a subrutinas y tres estructuras básicas: secuencia, selección (if y switch) e iteración (bucles for y while); así mismo, se considera innecesario y contraproducente el uso de la instrucción de transferencia incondicional, que podría conducir a código espagueti, mucho más difícil de seguir y de mantener, y fuente de numerosos errores de programación.

Entre las ventajas de la programación estructurada sobre el modelo anterior -hoy llamado despectivamente código espagueti-, cabe citar las siguientes:

- Los programas son más fáciles de entender, pueden ser leídos de forma secuencial y no hay necesidad de tener que rastrear saltos de líneas dentro de los bloques de código para intentar entender la lógica interna.
- La estructura de los programas es clara, puesto que las instrucciones están más ligadas o relacionadas entre sí.
- Se optimiza el esfuerzo en las fases de pruebas y depuración. El seguimiento de los fallos o errores del programa (debugging), y con él su detección y corrección se facilita enormemente.
- Se reducen los costos de mantenimiento. Análogamente a la depuración, durante la fase de mantenimiento, modificar o extender los programas resulta más fácil.
- Los programas son más sencillos y más rápidos de confeccionar.
- Se incrementa el rendimiento de los programadores.

Programación Orientada a Objetos (POO, u OOP según sus siglas en inglés) es un paradigma de programación que viene a innovar la forma de obtener resultados. El surgimiento de la programación orientada objetos trata de lidiar con una gran cantidad de requisitos que compiten entre sí, incluso contradiciéndose, tienen desacoplamientos de impedancias entre usuarios del sistema y desarrolladores y es común la modificación de los requisitos con el paso del tiempo pues los usuarios y desarrolladores comienzan a compenetrarse mejor. Así, la programación orientada a objetos permite

dirigir un equipo grande de desarrolladores, manejar una gran cantidad de código, usar estándares de desarrollo -al igual que en otras ingenierías- y verificar la fiabilidad de los estándares existentes en el mercado.

Los objetos manipulan los datos de entrada para la obtención de datos de salida específicos, donde cada objeto ofrece una funcionalidad especial. Los objetos son entidades que tienen un determinado «estado», «comportamiento (método)» e «identidad»:

- La identidad es una propiedad de un objeto que lo diferencia del resto; dicho con otras palabras, es su identificador -concepto análogo al de identificador de una variable o una constante-.

- Un objeto contiene toda la información que permite definirlo e identificarlo frente a otros objetos pertenecientes a otras clases e incluso frente a objetos de una misma clase, al poder tener valores bien diferenciados en sus atributos. A su vez, los objetos disponen de mecanismos de interacción llamados métodos, que favorecen la comunicación entre ellos. Esta comunicación favorece a su vez el cambio de estado en los propios objetos. Esta característica lleva a tratarlos como unidades indivisibles, en las que no se separa el estado y el comportamiento.

- Los métodos (comportamiento) y atributos (estado) están estrechamente relacionados por la propiedad de conjunto. Esta propiedad destaca que una clase requiere de métodos para poder tratar los atributos con los que cuenta. El programador debe pensar indistintamente en ambos conceptos, sin separar ni darle mayor importancia a alguno de ellos. Hacerlo podría producir el hábito erróneo de crear clases contenedoras de información por un lado y clases con métodos que manejen a las primeras por el otro. De esta manera se estaría realizando una «programación estructurada camuflada» en un lenguaje de POO.

La programación orientada a objetos difiere de la programación estructurada tradicional, en la que los datos y los procedimientos están separados y sin relación, ya que lo único que se busca es el procesamiento de unos datos de entrada para obtener otros de salida. La programación estructurada anima al programador a pensar sobre todo en términos de procedimientos o funciones, y en segundo lugar en las estructuras de datos que esos procedimientos manejan. En la programación estructurada solo se escriben funciones que procesan

datos. Los programadores que emplean POO, en cambio, primero definen objetos para luego enviarles mensajes solicitándoles que realicen sus métodos por sí mismos.

Conceptos fundamentales La programación orientada a objetos es una forma de programar que trata de encontrar solución a los problemas que genera el desarrollo de proyectos de tamaño mediano o grande y/o complejos. Introduce nuevos conceptos, que superan y amplían conceptos antiguos ya conocidos. Entre ellos destacan los siguientes:

- Clase: se puede definir de las propiedades y comportamiento de un tipo de objeto concreto. La instanciación es la lectura de estas definiciones y la creación de un objeto a partir de ella.
- Herencia: Por ejemplo, la herencia de la clase C a la clase D, es la facilidad mediante la cual la clase D hereda en ella cada uno de los atributos y operaciones de C, como si esos atributos y operaciones hubiesen sido definidos por la misma D. Por lo tanto, puede usar los mismos métodos y variables registrados como «públicos (public)» en C. Los componentes registrados como «privados (private)» también se heredan pero se mantienen escondidos al programador y sólo pueden ser accedidos a través de otros métodos públicos. Para poder acceder a un atributo u operación de una clase en cualquiera de sus subclases pero mantenerla oculta para otras clases es necesario registrar los componentes como «protegidos (protected)», de esta manera serán visibles en C y en D pero no en otras clases.
- Objeto: La instancia de una clase. Entidad provista de un conjunto de propiedades o atributos (datos) y de comportamiento o funcionalidad (métodos), los mismos que consecuentemente reaccionan a eventos. Se corresponden con los objetos reales del mundo que nos rodea, o con objetos internos del sistema (del programa).
- Método: Es un algoritmo asociado a un objeto (o a una clase de objetos), cuya ejecución se desencadena tras la recepción de un «mensaje». Desde el punto de vista del comportamiento, es lo que el objeto puede hacer. Un método puede producir un cambio en las propiedades del objeto, o la generación de un «evento» con un nuevo mensaje para otro objeto del sistema.

- Evento: Es un suceso en el sistema -tal como una interacción del usuario con la máquina, o un mensaje enviado por un objeto-. El sistema maneja el evento enviando el mensaje adecuado al objeto pertinente. También se puede definir como evento la reacción que puede desencadenar un objeto; es decir, la acción que genera.

- Atributos: Características que tiene la clase.

- Mensaje: Una comunicación dirigida a un objeto, que le ordena que ejecute uno de sus métodos con ciertos parámetros asociados al evento que lo generó.

- Propiedad o atributo: Contenedor de un tipo de datos asociados a un objeto (o a una clase de objetos), que hace los datos visibles desde fuera del objeto y esto se define como sus características predeterminadas, y cuyo valor puede ser alterado por la ejecución de algún método.

- Estado interno: Es una variable que se declara privada, que puede ser únicamente accedida y alterada por un método del objeto, y que se utiliza para indicar distintas situaciones posibles para el objeto (o clase de objetos). No es visible al programador que maneja una instancia de la clase.

- Componentes de un objeto: Atributos, identidad, relaciones y métodos.

- Identificación de un objeto: Un objeto se representa por medio de una tabla o entidad que esté compuesta por sus atributos y funciones correspondientes.

Por ejemplo, definamos a la clase Persona y un objeto p de esa clase en el lenguaje Java:

```
public class Persona {
  private String nombre;
  private String apellidos;
  private int edad;
  public Persona(String nombre, String apellidos, int edad) {
    this.nombre = nombre;
    this.apellidos = apellidos;
    this.edad = edad;
```

```
    }
    public String getNombre() {
      return nombre;
    }
    public String getApellidos() {
      return apellidos;
    }
    public int getEdad() {
      return edad;
    }
    public static void main(String [ ] Args) {
      Persona p = new Persona ("Antonio", "Carrillo", 50);
    }
}
```

Y hacemos lo mismo pero en el lenguaje Python:

```
class Persona:
  def __init__(self, nombre, apellidos, edad):
    self.Nombre = nombre
    self.Apellidos = apellidos
    self.Edad = edad
  def nombre(self):
    return self.Nombre
  def apellidos(self):
    return self.Apellidos
  def edad(self):
    return self.Edad
if __name__ == "__main__":
  p = Persona("Antonio", "Carrillo", 50)
```

Y ahora haremos uso de la herencia para definir la clase Profesor que es heredada de la clase persona, en Java:

```
public class Profesor extends Persona {
  private String idProfesor;
  public Profesor(String nombre, String apellidos, int edad,
String idProfesor) {
```

```
        super(nombre, apellidos, edad);
        this.idProfesor = idProfesor;
      }
      public void setIdProfesor(String idProfesor) {
        this.idProfesor = idProfesor;
      }
      public String getIdProfesor() {
        return idProfesor;
      }
      public static void main(String [ ] Args) {
        Profesor p = new Profesor("Antonio", "Carrillo", 50, "Prof
3289239823");
      }
    }
```

Y en Python:

```
class Profesor(Persona):
  def __init__(self, nombre, apellidos, edad, identificador):
    Persona.__init__(self, nombre, apellidos, edad)
    self.Identificador = identificador
  def identificador(self):
  return self.Identificador
p = Profesor("Antonio", "Carrillo", 50, "Prof 3289239823")
```

Características de la POO Existe un acuerdo acerca de qué características contempla la «orientación a objetos». Las características siguientes son las más importantes:

- Abstracción: Denota las características esenciales de un objeto, donde se capturan sus comportamientos. Cada objeto en el sistema sirve como modelo de un «agente» abstracto que puede realizar trabajo, informar y cambiar su estado, y «comunicarse» con otros objetos en el sistema sin revelar «cómo» se implementan estas características. Los procesos, las funciones o los métodos pueden también ser abstraídos, y, cuando lo están, una variedad de técnicas son requeridas para ampliar una abstracción. El proceso de abstracción permite seleccionar las

características relevantes dentro de un conjunto e identificar comportamientos comunes para definir nuevos tipos de entidades en el mundo real. La abstracción es clave en el proceso de análisis y diseño orientado a objetos, ya que mediante ella podemos llegar a armar un conjunto de clases que permitan modelar la realidad o el problema que se quiere atacar.

- Encapsulamiento: Significa reunir todos los elementos que pueden considerarse pertenecientes a una misma entidad, al mismo nivel de abstracción. Esto permite aumentar la cohesión (diseño estructurado) de los componentes del sistema.

- Polimorfismo: Comportamientos diferentes, asociados a objetos distintos, pueden compartir el mismo nombre; al llamarlos por ese nombre se utilizará el comportamiento correspondiente al objeto que se esté usando. O, dicho de otro modo, las referencias y las colecciones de objetos pueden contener objetos de diferentes tipos, y la invocación de un comportamiento en una referencia producirá el comportamiento correcto para el tipo real del objeto referenciado. Cuando esto ocurre en «tiempo de ejecución» esta última característica se llama asignación tardía o asignación dinámica.

- Herencia: Las clases no se encuentran aisladas, sino que se relacionan entre sí, formando una jerarquía de clasificación. Los objetos heredan las propiedades y el comportamiento de todas las clases a las que pertenecen. La herencia organiza y facilita el polimorfismo y el encapsulamiento, permitiendo a los objetos ser definidos y creados como tipos especializados de objetos preexistentes. Estos pueden compartir (y extender) su comportamiento sin tener que volver a implementarlo. Esto suele hacerse habitualmente agrupando los objetos en clases y estas en árboles o enrejados que reflejan un comportamiento común. Cuando un objeto hereda de más de una clase se dice que hay herencia múltiple; siendo de alta complejidad técnica por lo cual suele recurrirse a la herencia virtual para evitar la duplicación de datos.

- Modularidad: Se denomina «modularidad» a la propiedad que permite subdividir una aplicación en partes más pequeñas (llamadas módulos), cada una de las cuales debe ser tan independiente como sea posible de la aplicación en sí y de las partes restantes. Estos módulos se pueden

compilar por separado, pero tienen conexiones con otros módulos. Al igual que la encapsulación, los lenguajes soportan la modularidad de diversas formas.

- Principio de ocultación: Cada objeto está aislado del exterior, es un módulo natural, y cada tipo de objeto expone una «interfaz» a otros objetos que específica cómo pueden interactuar con los objetos de la clase. El aislamiento protege a las propiedades de un objeto contra su modificación por quien no tenga derecho a acceder a ellas; solamente los propios métodos internos del objeto pueden acceder a su estado. Esto asegura que otros objetos no puedan cambiar el estado interno de un objeto de manera inesperada, eliminando efectos secundarios e interacciones inesperadas.

- Recolección de basura: La recolección de basura (garbage collection) es la técnica por la cual el entorno de objetos se encarga de destruir automáticamente, y por tanto desvincular la memoria asociada, los objetos que hayan quedado sin ninguna referencia a ellos. Esto significa que el programador no debe preocuparse por la asignación o liberación de memoria, ya que el entorno la asignará al crear un nuevo objeto y la liberará cuando nadie lo esté usando.

Muchos de los objetos prediseñados de los lenguajes de programación actuales permiten la agrupación en bibliotecas o librerías, sin embargo, muchos de estos lenguajes permiten al usuario la creación de sus propias bibliotecas. Está basada en varias técnicas, incluyendo herencia, cohesión, abstracción, polimorfismo, acoplamiento y encapsulamiento.

Recursión o Recursividad Un concepto que siempre le cuesta bastante a los programadores que están empezando es el de recursión o recursividad (se puede decir de las dos maneras). La recursividad consiste en funciones que se llaman a sí mismas, evitando el uso de bucles y otros iteradores.

Uno ejemplo fácil de ver y que se usa a menudo es el cálculo del factorial de un número entero. El factorial de un número se define como ese número multiplicado por el anterior, éste por el anterior, y así sucesivamente hasta llegar a 1. Así, por ejemplo, el factorial del número 5 sería: 5x4x3x2x1 = 120.

Tomando el factorial como base para un ejemplo, ¿cómo podemos crear una función que calcule el factorial de un número? Bueno, existen multitud de formas. La más obvia quizá sería simplemente usar un bucle determinado para hacerlo, algo así en C:

```
long factorial(int n){
  long res = 1;
  for(int i=n; i>=1; i- -) res = res * i;
  return res;
}
```

Sin embargo hay otra forma de hacerlo sin necesidad de usar ninguna estructura de bucle que es mediante recursividad. Esta versión de la función hace exactamente lo mismo, pero es más corta, más simple y más elegante:

```
long factorial(int n)
{
   long fact;
   if (n <= 1) return 1;
   return n*factorial(n-1);
}
```

Aquí lo que se hace es que la función se llama a sí misma (eso es recursividad), y deja de llamarse cuando se cumple la condición de parada (en este caso que el argumento sea menor o igual que 1 que es lo que hay en el condicional).

Ventajas e inconvenientes ¿Ganamos algo al utilizar recursión en lugar de bucles/iteradores para casos como este?

En este caso concreto del cálculo factorial no, y de hecho es una forma más lenta de hacerlo y ocupa más memoria. Esto no es preocupante en la realidad, pero conviene saberlo. Lo del factorial es solo una forma de explicarlo con un ejemplo sencillo y que sea fácil de entender.

Pero entonces, si no ganamos nada en este caso ¿para qué sirve realmente la recursividad?

Pues para resolver ciertos problemas de manera elegante y eficiente. El ejemplo típico sería el recorrer un árbol de elementos para hacer algo con todos ellos. Imagínate un sistema de archivos con carpetas y subcarpetas

y archivos dentro de estas carpetas, o el árbol de elementos de una página Web donde unos elementos incluyen a su vez otros y no sabes cuántos hay en cada uno. En este tipo de situaciones la manera más eficiente de hacer una función que recorra todos los elementos es mediante recursión. Es decir, se crea una función que recorra todos los elementos hijo del nodo que se le pase y que se llame a sí misma para hacer lo mismo con los subnodos que haya. En el caso del sistema de archivos se le pasaría una carpeta y se llamaría a sí misma por cada subcarpeta que hubiese, y así sucesivamente con todas las demás. Con una sola llamada inicial recorrerá automáticamente toda la estructura del sistema de archivos.

Con eso, y sin necesidad de complicarse, de repente se tiene una función muy poderosa capaz de enumerar cualquier estructura arbitraria por compleja que sea. Ahí es donde se ve el verdadero poder de la recursividad, aunque hay aplicaciones más potentes y más complejas todavía.

Detalles a Tener en Cuenta Otra cosa importante a tener en cuenta es que, cada vez que se hace una llamada a una función desde otra función (aunque sea a sí misma), se crea una nueva entrada en la pila de llamadas del intérprete. Esta tiene un espacio limitado por lo que puede llegar un punto en el que si se hacen demasiadas se sature y se produzca un error. A este error se le denomina "Desbordamiento de pila" o "Stack Overflow". Ahora ya sabemos de donde viene el nombre del famoso sitio para dudas de programadores sin el que la programación moderna no sería posible.

Además, hay que tener mucho cuidado con la condición de parada. Esta se refiere a la condición que se debe comprobar para determinar que ya no se harán más llamadas a la función. Es en ese momento en el que empiezan a devolverse los valores hacia "arriba", retornando a la llamada original.

Si no tienes la condición de parada controlada pueden pasar varias cosas (todas malas), como por ejemplo:

- Que se sature la pila y se produzca un desbordamiento
- Que se ocupe cada vez más memoria
- Que se produzcan desbordamientos de variables al ir acumulando resultados.