Algoritmos y Programación II
TP1: Recursividad

Bourbon, Rodrigo
Carreño Romano, Carlos Germán
Sampayo, Sebastián Lucas

Primer Cuatrimestre de 2015

Índice

1. Objetivos

Ejercitar técnicas de diseño, análisis, e implementación de algoritmos recursivos.

2. Introducción

2.1. Transformada de Fourier

La transformada de Fourier es una operación matemática que transforma una señal de dominio de tiempo a dominio de frecuencia y viceversa. Tiene muchas aplicaciones en la ingeniería, especialmente para la caracterización frecuencial de señales y sistemas lineales. Es decir, la transformada de Fourier se utiliza para conocer las características frecuenciales de las señales y el comportamiento de los sistemas lineales ante estas señales.

2.1.1. Transformada discreta de Fourier

Una *DFT* (Transformada de Fourier Discreta - por sus siglas en inglés) es el nombre dado a la transformada de Fourier cuando se aplica a una señal digital (discreta) en vez de una analógica (continua).

2.1.2. Transformada rápida de Fourier

Una *FFT* (Transformada Rápida de Fourier - por sus siglas en inglés) es una versión más rápida de la *DFT* que puede ser aplicada cuando el número de mustras de la señal es una potencia de dos. Un cálculo de *FFT* toma aproximadamente $N \log(N)$ operaciones, mientras que *DFT* toma aproximadamente N^2 operaciones, así es que la *FFT* es significativamente más rápida.

2.2. Relleno con ceros (*zero padding*)

Esto significa que se agregarán ceros al final de la secuencia de valores ingresados. En el presente trabajo se decidió completar con ceros las muestas leídas en la entrada del programa hasta llevarlas a la potencia de dos más cercana. Esta adición no afecta el espectro de frecuencia de la señal y es recomendable ya que se acelera el cálculo de *FFT*. El relleno de ceros también incrementa la resolución de la frecuencia de una *FFT*.

3. Standard de estilo

Adoptamos la convención de estilo de código de Google para C++, salvando las siguientes excepciones:

- Streams: utilizamos flujos de entrada y salida
- Sobrecarga de operadores

`https://google-styleguide.googlecode.com/svn/trunk/cppguide.html#Naming`

4. Diseño del programa

Para resolver el problema, se optó por un diseño *top-down*, es decir, planteando el algoritmo de alto nivel con un diagrama en bloques. Luego se implementó cada bloque por separado para que cumpla con las necesidades de entrada y salida. Una vez hecho esto, los bloques se interconectan en el programa principal (*main*).

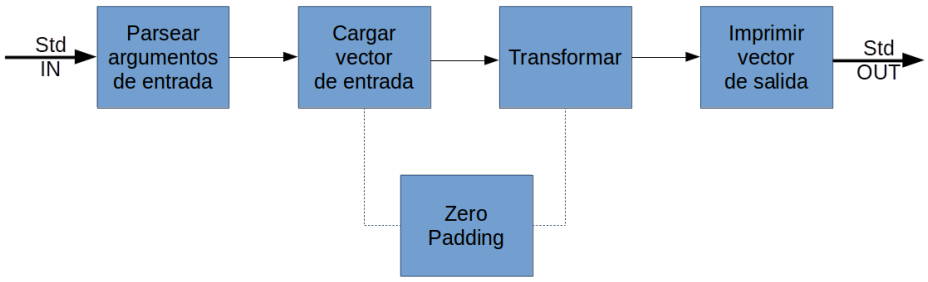


Figura 1: Diagrama en bloques del programa principal.

5. Opciones del programa

El programa se ejecuta en línea de comandos, y las opciones que admite (sin importar el orden de aparición) son las siguientes:

nombre largo (*nombre corto*): *descripción*

- `--input` (`-i`):

  En esta opción se indica un argumento que debe ser la ruta de un archivo del cual queramos leer o bien la opción por defecto "-" que utiliza el flujo de entrada estándar.

- `--output` (`-o`):

  En esta opción se indica un argumento que debe ser la ruta de un archivo en el cual queramos imprimir o bien la opción por defecto "-" que utiliza el flujo de salida estándar.

- `--method` (`-m`):

  En esta opción se indica la acción que se debe realizar sobre los datos de la entrada, estos pueden ser:

  - Transformada discreta de Fourier (`-dft`).
  - Transformada discreta inversa de Fourier (`-idft`).
  - Transformada rápida de Fourier (`-fft`).
  - Transformada rápida inversa de Fourier (`-ifft`).

  Por defecto el programa se ejecuta con la transformada rápida de fourier.

6. Métodos de la Transformada

como fue implementado dft y fft, funciones genéricas, máscaras, complejidad temporal, espacial, etc.

6.1. FFT

6.1.1. Complejidad Temporal

Para estudiar el costo temporal de esta implementación —$T(N)$— se analizó cada línea de código de la función *calculate_fft_generic()*.

Al principio, todas las sentencias son de orden constante hasta que aparece el primer ciclo:

```
1 static Vector<Complex>
2 calculate_fft_generic(Vector<Complex> const &x, bool inverse)
3 {
4   size_t N;
5   N = x.size();
6
```

```
7    Vector<Complex> X(N);
8
9    // Por defecto se calcula la FFT con estos parámetros:
10   double factor = 1;
11   int W_phase_sign = -1;
12
13   // En caso de tener que calcular la inversa,
14   // modifico el factor de escala y el signo de la fase de W.
15   if (inverse)
16   {
17     factor = 1.0/N;
18     W_phase_sign = 1;
19   }
20
21   if (N > 1)
22   {
23     // Divido el problema en 2:
24     // Suponemos que la entrada es par y potencia de 2
25     Vector<Complex> p(N/2);
26     Vector<Complex> q(N/2);
27     Vector<Complex> P(N/2);
28     Vector<Complex> Q(N/2);
```

Las únicas expresiones que ofrecen cierta duda de que su coste sea constante son las últimas —constructores de N/2 elementos. Sin embargo, al ver la implementación de dicho constructor no quedan dudas, ya que solo consiste en una comparación, una asignación, y una llamada a *new*:

```
1  template <typename T>
2  Vector<T>::Vector(int s)
3  {
4    if (s <= 0)
5    {
6      exit(1);
7    }
8    else
9    {
10     size_ = s;
11     ptr_ = new T[size_];
12   }
13 }
```

Continuando con la función *calculate_fft_generic()* :

```
1      for (size_t i=0; i<N/2; i++)
2      {
3        p[i] = x[2*i];
4        q[i] = x[2*i+1];
5      }
6
7      P = calculate_fft(p);
8      Q = calculate_fft(q);
9
10     // Combino las soluciones:
11     for (size_t k=0; k<N; k++)
12     {
13       Complex W(cos(k*(2*PI)/N),
14                 W_phase_sign*sin(k*(2*PI)/N));
15       // Para que se repitan los elementos cíclicamente, se utiliza la función
             módulo
```

```
16          size_t k2 = k % (N/2);
17
18          X[k] = factor * (P[k2] + W*Q[k2]);
19        }
20      }
21      else
22      {
23        X = x;
24      }
25
26      return X;
27  }
```

Se tiene un ciclo de N/2 iteraciones cuyas operaciones en cada caso son de orden constante, con lo cual el orden de este ciclo es $\mathcal{O}(N/2)$.

A continuación encontramos las llamadas recursivas. Dado que el tamaño de la entrada se reduce a la mitad, tenemos 2 llamadas de coste $T(N/2)$.

Finalmente, se tiene un ciclo de N iteraciones cuyas operaciones en cada caso son de orden constante, produciendo un coste de $\mathcal{O}(N)$. De esta forma, agrupando estos resultados parciales, se puede escribir la ecuación de recurrencia para este algoritmo:

$$T(N) = \mathcal{O}(1) + \mathcal{O}(N/2) + 2T(N/2) + \mathcal{O}(N)$$
$$T(N) = 1 + N + 2T(N/2)$$

$$\boxed{T(N) = 2T(N/2) + N}$$

Como se puede ver, es posible aplicar el teorema maestro, definiendo:

$$a = 2 \geq 1$$
$$b = 2 > 1$$
$$f(N) = N$$

Utilizando el segundo caso del teorema:

$$\exists k \geq 0 \quad / \quad N \in \Theta(N^{\log_b(a)} \log^k(N))$$
$$\Rightarrow T(N) \in \Theta(N^{\log_b(a)} \log^{k+1}(N))$$

Es fácil ver que con $k = 0$ dicha condición se cumple, por lo tanto el resultado final es:

$$\boxed{T(N) \in \Theta(N \log N)}$$

Este resultado es coherente, ya que el algoritmo utiliza la técnica de "divide y vencerás" la recurrencia es análoga al caso del conocido *MergeSort*.

6.2. DFT

6.2.1. Complejidad Temporal

Para estudiar el costo temporal de esta implementación —$T(N)$— se analizó cada línea de código de la función *calculate_dft_generic()*.

Al principio, todas las sentencias son de orden constante hasta que aparece el primer ciclo de N iteraciones. Dentro de este hay otro cilco de N iteraciones y 2 sentencias de orden constante, mientras que en el ciclo anidado hay una llamada a una funcion recursiva (*pow_Complex*):

```
1  static Vector<Complex>
2  calculate_dft_generic(Vector<Complex> const &x, bool inverse)
3  {
```

```
4     Complex aux;
5     size_t N;
6
7     N = x.size();
8
9     // Por defecto se calcula la DFT con estos parámetros:
10    double factor = 1;
11    int W_phase_sign = -1;
12
13    // En caso de tener que calcular la inversa,
14    // modifico el factor de escala y el signo de la fase de W.
15    if (inverse)
16    {
17      factor = 1.0/N;
18      W_phase_sign = 1;
19    }
20
21    Vector<Complex> X(N);
22
23    Complex W(cos((2*PI)/N),
24              W_phase_sign*sin((2*PI)/N));
25
26    for(size_t k=0;k<N;k++) {
27      for(size_t n=0;n<N;n++) {
28        aux += x[n] * pow_complex(W, n*k);
29      }
30      X[k] = factor * aux;
31      aux = 0;
32    }
33    return X;
34  }
```

Analizamos el coste temporal —$T_p(p)$— de la función (*pow_Complex*):

```
1   Complex
2   pow_complex(Complex const &z, size_t p)
3   {
4     if(!p) return 1;
5
6     if(p == 1){
7       return z;
8     }
9     else{
10      Complex aux = pow_complex(z, p/2);
11      if(!(p%2))
12          return aux * aux;
13        else
14          return aux * aux * z;
15    }
16  }
```

Se observa que todas las operaciones son de orden constante $\mathcal{O}(1)$ y a continuación se tiene una llamada recursiva. Dado que el tamaño del problema se reduce a la mitad, tenemos 1 llamada de coste $T_p(p/2)$ Agrupando estos resultados, se puede escribir la ecuación de recurrencia para este algoritmo:

$$T_p(p) = \mathcal{O}(1) + T_p(p/2)$$

$$\boxed{T_p(p) = T_p(p/2) + 1}$$

Como se puede ver, es posible aplicar el teorema maestro, definiendo:

$$a = 1 \geq 1$$
$$b = 2 > 1$$
$$f(p) = 1$$

Utilizando el segundo caso del teorema:

$$\exists\, k \geq 0 \quad / \quad f(p)\ \epsilon\ \Theta(p^{\log_b(a)} \log^k(p))$$
$$\Rightarrow T_p(p)\ \epsilon\ \Theta(p^{\log_b(a)} \log^{k+1}(p))$$

Es fácil ver que con $k = 0$ dicha condición se cumple, por lo tanto el resultado final es:

$$T_p(p)\ \epsilon\ \Theta(\log p)$$

Una vez sabido el coste temporal de este algoritmo podemos calcular el de la función principal. Como se había planteado anteriormente, consta de 2 ciclos anidados de N iteraciones. El coste del segundo ciclo está dado por:

$$T(N) = (\mathcal{O}(1) + \Theta(\log N)) * N$$
$$\Rightarrow T(N)\ \epsilon\ \Theta(N \log N)$$

Entonces el coste total del primer ciclo es:

$$T(N) = (\mathcal{O}(1) + \Theta(N \log N)) * N$$
$$\Rightarrow T(N)\ \epsilon\ \Theta(N^2 \log N)$$

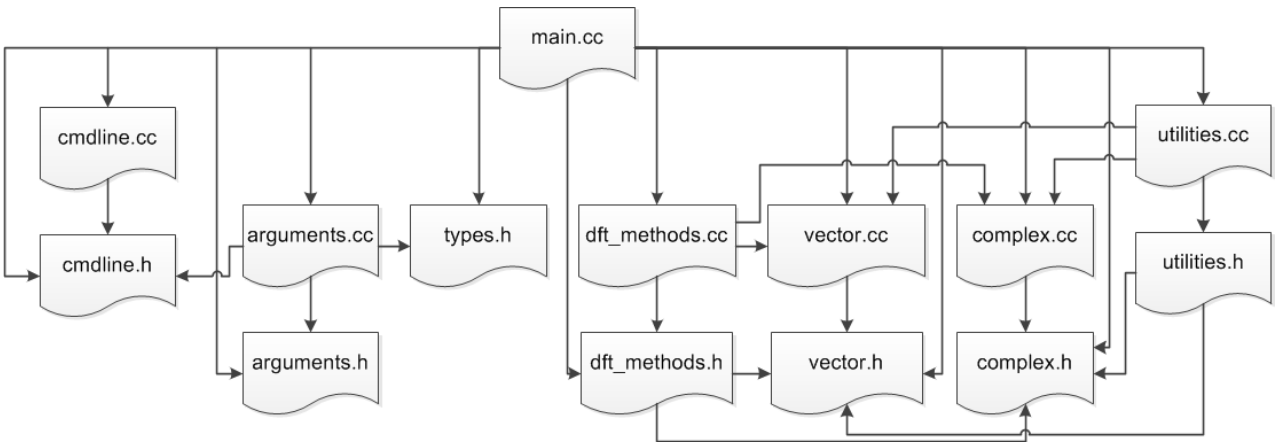
Juntando todos los resultados parciales tenemos que el coste total del algoritmo es:

$$T(N) = \mathcal{O}(1) + \Theta(N^2 \log N)$$
$$\Rightarrow \boxed{T(N)\ \epsilon\ \Theta(N^2 \log N)}$$

En conclusión se puede ver que si la función *pow_Complex()* fuera reemplazada por una expresión de orden constante (como por ejemplo la creación del número complejo W directamente en cada iteración, como se hizo en la implementación de la FFT), entonces se perdería la componente logarítmica de la complejidad, quedando el resultado final:

$$\boxed{T(N)\ \epsilon\ \Theta(N^2)}$$

7. Estructura de archivos



8. Compilación

Como se compila

9. Casos de prueba

Se realizó un *script* para la ejecución de todos los casos de prueba.

```
#!/bin/bash

# Script de tests automáticos para tp1.

echo Casos de prueba según la especifiación del TP
echo
echo Caso 1
echo "$ cat entrada.txt"
cat entrada.txt
echo "$ ./tp1 < entrada.txt"
./tp1 < entrada.txt
echo "$ ./tp1 -m fft < entrada.txt"
./tp1 -m fft < entrada.txt
echo "$ ./tp1 -m dft < entrada.txt"
./tp1 -m dft < entrada.txt
echo

echo Caso 2
echo "$ cat entrada2.txt"
cat entrada2.txt
echo "$ ./tp1 < entrada2.txt"
./tp1 < entrada2.txt
echo "$ ./tp1 -m fft < entrada2.txt"
./tp1 -m fft < entrada2.txt
echo "$ ./tp1 -m dft < entrada2.txt"
./tp1 -m dft < entrada2.txt
echo

echo Caso 4
echo "$ cat entrada4.txt"
cat entrada4.txt
echo "$ ./tp1 -m ifft < entrada4.txt"
./tp1 -m ifft < entrada4.txt
echo "$ ./tp1 -m idft -o salida4.txt < entrada4.txt"
./tp1 -m idft -o salida4.txt < entrada4.txt
echo "$ cat salida4.txt"
cat salida4.txt
echo
```

9.1. Caso 1

```
Caso 1
$ cat entrada.txt
1 1 1 1
$ ./tp1 < entrada.txt
(4, 0)
(-1.22461e-16, -1.22461e-16)
(0, -2.44921e-16)
(1.22461e-16, -1.22461e-16)
$ ./tp1 -m fft < entrada.txt
(4, 0)
(-1.22461e-16, -1.22461e-16)
(0, -2.44921e-16)
(1.22461e-16, -1.22461e-16)
$ ./tp1 -m dft < entrada.txt
(4, 0)
(-1.83691e-16, -2.22045e-16)
(0, -2.44921e-16)
(3.29028e-16, -3.33067e-16)
```

9.2. Caso 2

```
Caso 2
$ cat entrada2.txt
1 0 0 0 0 0 0 0
$ ./tp1 < entrada2.txt
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
$ ./tp1 -m fft < entrada2.txt
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
$ ./tp1 -m dft < entrada2.txt
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
(1, 0)
```

9.3. Caso 3

9.4. Caso 4

```
Caso 4
$ cat entrada4.txt
0 0 4 0
$ ./tp1 -m ifft < entrada4.txt
(1, 0)
(-1, -1.22461e-16)
(1, 0)
(-1, -1.22461e-16)
$ ./tp1 -m idft -o salida4.txt < entrada4.txt
$ cat salida4.txt
(1, 0)
(-1, 1.22461e-16)
(1, -2.44921e-16)
(-1, 3.67382e-16)
```

10. Código

10.1. Programa principal

10.1.1. main.cc

```
1  // ------------------------------------------------------------------ //
2
3  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
4
5  // Algoritmos y Programación II
6
7  // 1er Cuatrimestre de 2015
8
9  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
10
11 // Cálculo de DFT
12
13 //
14
15 // main.cc
16
17 // Archivo principal donde se ejecuta el main.
18
19 // ------------------------------------------------------------------ //
20
21
22
23 #include <iostream>
24
25 #include <cstdlib>
26
27 #include <sstream>
28
29
30
31 #include "cmdline.h"
```

```
32
33 #include "arguments.h"
34
35 #include "complex.h"
36
37 #include "vector.h"
38
39 // En definitiva lo que calculamos en todos los casos es la DFT
40
41 // (incluso en el caso de la fft, es un algorítmo para calcular la DFT)
42
43 #include "dft_methods.h"
44
45 #include "utilities.h"
46
47 #include "types.h"
48
49
50
51 using namespace std;
52
53
54
55
56
57 // Coleccion de funciones para transformar con los distintos métodos
58
59 Vector<Complex> (*transform[])(Vector<Complex> const &) = {
60
61
62
63     calculate_dft,
64
65           calculate_idft,
66
67     calculate_fft,
68
69           calculate_ifft
70
71     calculate_fft_iter,
72
73     calculate_ifft_iter
74
75
76
77 };
78
79
80
81 extern option_t options[];
82
83 extern istream *iss;
84
85 extern ostream *oss;
86
87 extern method_option_t method_option;
```

```
88
89
90
91  int main(int argc, char *argv[])
92
93  {
94
95    Complex input_complex;
96
97    Vector<Complex> input;
98
99    Vector<Complex> output;
100
101
102
103   // Parsear argumentos de invocacion
104
105   cmdline cmdl(options);
106
107   cmdl.parse(argc, argv);
108
109
110
111   // Mientras haya complejos en la entrada
112
113   // Cargar vector de entrada
114
115   while(*iss >> input_complex)
116
117   {
118
119     input.push_back(input_complex);
120
121   }
122
123
124
125   // Si el tamaño de la entrada no es potencia de 2 se completa con ceros
126
127   //hasta llevarla a la potencia de 2 más cercana (Zero-Padding)
128
129   set_up_input(input);
130
131
132
133   // Transformar
134
135   output = (transform[method_option])(input);
136
137
138
139   // Imprimir por la salida especificada por el usuario
140
141   for(int i=0; i<output.size(); i++)
142
143   {
```

```
144
145     *oss << output[i] << endl;
146
147   }
148
149
150
151
152
153   return EXIT_SUCCESS;
154
155
156
157 }
```

10.2. Parseo de opciones del programa

10.2.1. types.h

```
1  // ------------------------------------------------------------------------ //
2
3  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
4
5  // Algoritmos y Programación II
6
7  // 1° Cuatrimestre de 2015
8
9  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
10
11 // Cálculo de DFT
12
13 //
14
15 // types.h
16
17 // Tipos definidos para el proposito de la aplicacion
18
19 //  - Opciones posibles de métodos de transformada.
20
21 // ------------------------------------------------------------------------ //
22
23
24
25 #ifndef _TYPES_H_INCLUDED_
26
27 #define _TYPES_H_INCLUDED_
28
29
30
31 #include <iostream>
32
33
34
35 typedef enum{
36
37
38
```

```
39      METHOD_OPTION_DFT = 0,
40
41      METHOD_OPTION_IDFT = 1,
42
43      METHOD_OPTION_FFT = 2,
44
45      METHOD_OPTION_IFFT = 3,
46
47      METHOD_OPTION_FFT_ITER = 4,
48
49      METHOD_OPTION_IFFT_ITER = 5
50
51
52
53  } method_option_t;
54
55
56
57  #endif
```

10.2.2. cmdline.h

```
1   #ifndef _CMDLINE_H_INCLUDED_
2   #define _CMDLINE_H_INCLUDED_
3
4   #include <string>
5   #include <iostream>
6
7   #define OPT_DEFAULT   0
8   #define OPT_SEEN      1
9   #define OPT_MANDATORY 2
10
11  struct option_t {
12          int has_arg;
13          const char *short_name;
14          const char *long_name;
15          const char *def_value;
16          void (*parse)(std::string const &); // Puntero a funcin de opciones
17          int flags;
18  };
19
20  class cmdline {
21          // Este atributo apunta a la tabla que describe todas
22          // las opciones a procesar. Por el momento, slo puede
23          // ser modificado mediante contructor, y debe finalizar
24          // con un elemento nulo.
25          //
26          option_t *option_table;
27
28          // El constructor por defecto cmdline::cmdline(), es
29          // privado, para evitar construir "parsers" (analizador
30          // sintctico, recibe una palabra y lo interpreta en
31          // una accin dependiendo su significado para el programa)
32          // sin opciones. Es decir, objetos de esta clase sin opciones.
33          //
34
35          cmdline();
```

```
36          int do_long_opt(const char *, const char *);
37          int do_short_opt(const char *, const char *);
38  public:
39          cmdline(option_t *);
40          void parse(int, char * const []);
41  };
42
43  #endif
```

10.2.3. cmdline.cc

```
1   // cmdline - procesamiento de opciones en la lnea de comando.
2   //
3   // $Date: 2012/09/14 13:08:33 $
4   //
5   #include <string>
6   #include <cstdlib>
7   #include <iostream>
8
9   #include "cmdline.h"
10
11  using namespace std;
12
13
14
15  cmdline::cmdline()
16  {
17  }
18
19  cmdline::cmdline(option_t *table) : option_table(table)
20  {
21          /*
22          - Lo mismo que hacer:
23
24          option_table = table;
25
26          Siendo "option_table" un atributo de la clase cmdline
27          y table un puntero a objeto o struct de "option_t".
28
29          Se estara contruyendo una instancia de la clase cmdline
30          cargandole los datos que se hayan en table (la table con
31          las opciones, ver el cdigo en main.cc)
32
33          */
34  }
35
36  void
37  cmdline::parse(int argc, char * const argv[])
38  {
39  #define END_OF_OPTIONS(p)          \
40          ((p)->short_name == 0      \
41           && (p)->long_name == 0 \
42           && (p)->parse == 0)
43
44          // Primer pasada por la secuencia de opciones: marcamos
45          // todas las opciones, como no procesadas. Ver cdigo de
46          // abajo.
```

```
47          //
48          for (option_t *op = option_table; !END_OF_OPTIONS(op); ++op)
49                  op->flags &= ~OPT_SEEN;
50
51          // Recorremos el arreglo argv. En cada paso, vemos
52          // si se trata de una opcin corta, o larga. Luego,
53          // llamamos a la funcin de parseo correspondiente.
54          //
55          for (int i = 1; i < argc; ++i) {
56                  // Todos los parmetros de este programa deben
57                  // pasarse en forma de opciones. Encontrar un
58                  // parmetro no-opcin es un error.
59                  //
60                  if (argv[i][0] != '-') {
61                          cerr << "Invalid non-option argument: "
62                               << argv[i]
63                               << endl;
64                          exit(1);
65                  }
66
67                  // Usamos "--" para marcar el fin de las
68                  // opciones; todo los argumentos que puedan
69                  // estar a continuacin no son interpretados
70                  // como opciones.
71                  //
72                  if (argv[i][1] == '-'
73                      && argv[i][2] == 0)
74                          break;
75
76                  // Finalmente, vemos si se trata o no de una
77                  // opcin larga; y llamamos al mtodo que se
78                  // encarga de cada caso.
79                  //
80                  if (argv[i][1] == '-')
81                          i += do_long_opt(&argv[i][2], argv[i + 1]);
82                  else
83                          i += do_short_opt(&argv[i][1], argv[i + 1]);
84          }
85
86          // Segunda pasada: procesamos aquellas opciones que,
87          // (1) no hayan figurado explcitamente en la lnea
88          // de comandos, y (2) tengan valor por defecto.
89          //
90          for (option_t *op = option_table; !END_OF_OPTIONS(op); ++op) {
91  #define OPTION_NAME(op) \
92          (op->short_name ? op->short_name : op->long_name)
93                  if (op->flags & OPT_SEEN)
94                          continue;
95                  if (op->flags & OPT_MANDATORY) {
96                          cerr << "Option "
97                               << "-"
98                               << OPTION_NAME(op)
99                               << " is mandatory."
100                              << "\n";
101                         exit(1);
102                 }
```

```
103                     if (op->def_value == 0)
104                             continue;
105                     op->parse(string(op->def_value));
106             }
107     }
108
109     int
110     cmdline::do_long_opt(const char *opt, const char *arg)
111     {
112             // Recorremos la tabla de opciones, y buscamos la
113             // entrada larga que se corresponda con la opcin de
114             // lnea de comandos. De no encontrarse, indicamos el
115             // error.
116             //
117             for (option_t *op = option_table; op->long_name != 0; ++op) {
118                     if (string(opt) == string(op->long_name)) {
119                             // Marcamos esta opcin como usada en
120                             // forma explcita, para evitar tener
121                             // que inicializarla con el valor por
122                             // defecto.
123                             //
124                             op->flags |= OPT_SEEN;
125
126                             if (op->has_arg) {
127                                     // Como se trada de una opcin
128                                     // con argumento, verificamos que
129                                     // el mismo haya sido provisto.
130                                     //
131                                     if (arg == 0) {
132                                             cerr << "Option requires argument: "
133                                                  << "--"
134                                                  << opt
135                                                  << "\n";
136                                             exit(1);
137                                     }
138                                     op->parse(string(arg));
139                                     return 1;
140                             } else {
141                                     // Opcin sin argumento.
142                                     //
143                                     op->parse(string(""));
144                                     return 0;
145                             }
146                     }
147             }
148
149             // Error: opcin no reconocida. Imprimimos un mensaje
150             // de error, y finalizamos la ejecucin del programa.
151             //
152             cerr << "Unknown option: "
153                  << "--"
154                  << opt
155                  << "."
156                  << endl;
157             exit(1);
158
```

```
159         // Algunos compiladores se quejan con funciones que
160         // lgicamente no pueden terminar, y que no devuelven
161         // un valor en esta ltima parte.
162         //
163         return -1;
164 }
165
166 int
167 cmdline::do_short_opt(const char *opt, const char *arg)
168 {
169         option_t *op;
170
171         // Recorremos la tabla de opciones, y buscamos la
172         // entrada corta que se corresponda con la opcin de
173         // lnea de comandos. De no encontrarse, indicamos el
174         // error.
175         //
176         for (op = option_table; op->short_name != 0; ++op) {
177                 if (string(opt) == string(op->short_name)) {
178                         // Marcamos esta opcin como usada en
179                         // forma explcita, para evitar tener
180                         // que inicializarla con el valor por
181                         // defecto.
182                         //
183                         op->flags |= OPT_SEEN;
184
185                         if (op->has_arg) {
186                                 // Como se trata de una opcin
187                                 // con argumento, verificamos que
188                                 // el mismo haya sido provisto.
189                                 //
190                                 if (arg == 0) {
191                                         cerr << "Option requires argument: "
192                                              << "-"
193                                              << opt
194                                              << "\n";
195                                         exit(1);
196                                 }
197                                 op->parse(string(arg));
198                                 return 1;
199                         } else {
200                                 // Opcin sin argumento.
201                                 //
202                                 op->parse(string(""));
203                                 return 0;
204                         }
205                 }
206         }
207
208         // Error: opcin no reconocida. Imprimimos un mensaje
209         // de error, y finalizamos la ejecucin del programa.
210         //
211         cerr << "Unknown option: "
212              << "-"
213              << opt
214              << ".";
```

```
215             << endl;
216         exit(1);
217
218         // Algunos compiladores se quejan con funciones que
219         // lgicamente no pueden terminar, y que no devuelven
220         // un valor en esta ltima parte.
221         //
222         return -1;
223 }
```

10.2.4. arguments.h

```
1  // ------------------------------------------------------------------------ //
2
3  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
4
5  // Algoritmos y Programación II
6
7  // 1er Cuatrimestre de 2015
8
9  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
10
11 // Cálculo de DFT
12
13 //
14
15 // arguments.h
16
17 // Funciones a llamar para cada opcion posible de la aplicacion
18
19 // Nombres de los argumentos de la opcion "--format"
20
21 // ------------------------------------------------------------------------ //
22
23
24
25 #ifndef _ARGUMENTS_H_INCLUDED_
26
27 #define _ARGUMENTS_H_INCLUDED_
28
29
30
31 #include <iostream>
32
33
34
35 #define METHOD_OPTIONS 6
36
37 #define METHOD_DFT "dft"
38
39 #define METHOD_IDFT "idft"
40
41 #define METHOD_FFT "fft"
42
43 #define METHOD_IFFT "ifft"
44
45 #define METHOD_FFT_ITER "fft-iter"
```

```
46
47 #define METHOD_IFFT_ITER "ifft-iter"
48
49
50
51 void opt_input(std::string const &);
52
53 void opt_output(std::string const &);
54
55 void opt_method(std::string const &);
56
57
58
59 #endif
```

10.2.5. arguments.cc

```
1  // ------------------------------------------------------------------ //
2
3  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
4
5  // Algoritmos y Programación II
6
7  // 1er Cuatrimestre de 2015
8
9  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
10
11 // Cálculo de DFT
12
13 //
14
15 // arguments.cc
16
17 // Funciones a llamar para cada opción posible de la aplicación
18
19 // ------------------------------------------------------------------ //
20
21
22
23 #include <iostream>
24
25 #include <fstream>
26
27 #include <sstream>
28
29 #include <cstdlib>
30
31 #include <cstring>
32
33
34
35 #include "arguments.h"
36
37 #include "cmdline.h"
38
39 #include "types.h"
40
```

```
41
42
43  using namespace std;
44
45
46
47
48
49  // Opciones de argumentos de invocacion
50
51  option_t options[] = {
52
53          {1, "i", "input", "-", opt_input, OPT_SEEN},
54
55          {1, "o", "output", "-", opt_output, OPT_SEEN},
56
57          {1, "m", "method", "fft", opt_method, OPT_SEEN},
58
59          {0, },
60
61  };
62
63
64
65  // Nombres de los argumentos de la opcion "--method"
66
67  string description_method_option[] = {
68
69
70
71      METHOD_DFT,
72
73      METHOD_IDFT,
74
75      METHOD_FFT,
76
77      METHOD_IFFT,
78
79      METHOD_FFT_ITER,
80
81      METHOD_IFFT_ITER
82
83  };
84
85
86
87  istream *iss;
88
89  ostream *oss;
90
91  fstream ifs;
92
93  fstream ofs;
94
95  method_option_t method_option;
96
```

```
97
98
99  void
100
101 opt_input(string const &arg)
102
103 {
104
105         // Si el nombre del archivos es "-", usaremos la entrada
106
107         // estándar. De lo contrario, abrimos un archivo en modo
108
109         // de lectura.
110
111         //
112
113         if (arg == "-") {
114
115                 iss = &cin;             // Establezco la entrada estandar cin
                        como flujo de entrada
116
117         }
118
119         else {
120
121                 ifs.open(arg.c_str(), ios::in); // c_str(): Returns a pointer to
                        an array that contains a null-terminated
122
123                                                                         //
                                                                            sequenc
                                                                            of
                                                                            charact
                                                                            (
                                                                            i
                                                                            .
                                                                            e
                                                                            .,
                                                                            a
                                                                            C
                                                                            -
                                                                            string
                                                                            )
                                                                            represe
124
125                                                                         //
                                                                            the
```

current value of the string object .

```
126
127                 iss = &ifs;
128
129         }
130
131
132
133         // Verificamos que el stream este OK.
134
135         //
136
137         if (!iss->good()) {
138
139                 cerr << "Cannot open "
140
141                      << arg
142
143                      << "."
144
145                      << endl;
146
147                 exit(1);
148
149         }
150
151 }
152
153
154
155 void
156
157 opt_output(string const &arg)
158
159 {
160
161         // Si el nombre del archivos es "-", usaremos la salida
162
163         // estándar. De lo contrario, abrimos un archivo en modo
164
165         // de escritura.
166
167         //
168
```

```
169         if (arg == "-") {
170
171                 oss = &cout;     // Establezco la salida estandar cout como flujo
                        de salida
172
173         } else {
174
175                 ofs.open(arg.c_str(), ios::out);
176
177                 oss = &ofs;
178
179         }
180
181
182
183         // Verificamos que el stream este OK.
184
185         //
186
187         if (!oss->good()) {
188
189                 cerr << "Cannot open "
190
191                      << arg
192
193                      << "."
194
195                      << endl;
196
197                 exit(1);                 // EXIT: Terminación del programa en su
                        totalidad
198
199         }
200
201 }
202
203
204
205 void
206
207 opt_method(string const &arg)
208
209 {
210
211   size_t i;
212
213   // Recorremos diccionario de argumentos hasta encontrar uno que coincida
214
215   for(i=0; i < METHOD_OPTIONS; i++) {
216
217     if(arg == description_method_option[i]) {
218
219       method_option = (method_option_t)i; // Casteo
220
221       break;
222
```

```
223       }
224
225     }
226
227     // Si recorrio todo el diccionario, el argumento no esta implementado
228
229     if (i == METHOD_OPTIONS) {
230
231       cerr << "Unknown format" << endl;
232
233       exit(1);
234
235     }
236
237 }
```

10.3. Clase Vector

10.3.1. vector.h

```
1  // ------------------------------------------------------------------------ //
2  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
3  // Algoritmos y Programación II
4  // 1° Cuatrimestre de 2015
5  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
6  // Cálculo de DFT
7  //
8  // vector.h
9  // Interface de la clase Vector
10 // ------------------------------------------------------------------------ //
11
12
13 #ifndef _VECTOR_H_
14 #define _VECTOR_H_
15
16 #include <iostream>
17 #include <cstdlib>
18 using namespace std;
19
20
21 template <typename T>
22 class Vector
23 {
24   public:
25     Vector();
26     Vector(int);
27     Vector(const Vector<T> &);
28     ~Vector();
29
30     int size() const;
31     const Vector<T> &operator=(const Vector<T> &); // operador asignacion
32     const T &operator[](int) const;
33     T &operator[](int);
34
35     void push_back(const T &); // Alta al final
36     void pop_back(); // Baja al final
37
```

```
38
39    private:
40      int size_;
41      T *ptr_;
42  };
43
44  // Se incluye el .cc que contiene la implementación para que pueda
45  // compilar bien y se mantenga la separación de interface-implementación
46  // en 2 archivos distintos. Esto se debe al uso de plantillas.
47  #include "vector.cc"
48
49  #endif // _VECTOR_H_
```

10.3.2. vector.cc

```
1   // ------------------------------------------------------------------------ //
2   // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
3   // Algoritmos y Programación II
4   // 1° Cuatrimestre de 2015
5   // Trabajo Práctico 1: Recursividad
6   // Cálculo de DFT
7   //
8   // vector.cc
9   // Implementación de la clase Vector
10  // ------------------------------------------------------------------------ //
11
12  //#include "vector.h"
13
14  // Constructor por defecto
15  template <typename T>
16  Vector<T>::Vector()
17  {
18    ptr_ = NULL;
19    size_ = 0;
20  }
21
22  // Constructor con argumento
23  template <typename T>
24  Vector<T>::Vector(int s)
25  {
26    if (s <= 0)
27    {
28      exit(1);
29    }
30    else
31    {
32      size_ = s;
33      ptr_ = new T[size_];
34    }
35  }
36
37  // Constructor por copia
38  template <class T>
39  Vector<T>::Vector(const Vector<T> &v)
40  {
41    size_ = v.size_ ;
42    ptr_ = new T[size_];
```

```
43    for (int i=0; i < size_; i++)
44      ptr_[i] = v.ptr_[i];
45  }
46
47
48  template <typename T>
49  Vector<T>::~Vector()
50  {
51    if (ptr_)
52      delete [] ptr_;
53  }
54
55
56  template <typename T>
57  int
58  Vector<T>::size() const
59  {
60    return size_;
61  }
62
63
64  // Operador asignacion
65  template <typename T>
66  const Vector<T> &
67  Vector<T>::operator=(const Vector<T> &rigth)
68  {
69    if (this != &rigth)
70    {
71      if (size_ != rigth.size_)
72      {
73        T *aux;
74        aux = new T[rigth.size_];
75        delete [] ptr_; // si llegó acá es que obtuvo el espacio;libera el
              anterior espacio
76
77        size_ = rigth.size_;
78        ptr_ = aux;
79        for (int i=0; i < size_; i++)
80          ptr_[i] = rigth.ptr_[i];
81
82        return *this;
83      }
84      else
85      {
86        for (int i=0; i < size_; i++)
87          ptr_[i] = rigth.ptr_[i];
88
89        return *this;
90      }
91    }
92    return *this;
93  }
94
95
96  // Operador Sub-índice que devuelve rvalue constante
97  // En caso de pasar un sub-índice fuera de rango el programa finaliza con error
```

```
98  template <typename T>
99  const T &
100 Vector<T>::operator[](int i) const
101 {
102   if (i < 0 || i >= size_)
103     exit(1);
104
105   return ptr_[i];
106 }
107
108 // Operador Sub-índice que devuelve lvalue modificable
109 // En caso de pasar un sub-índice fuera de rango el programa finaliza con error
110 template <typename T>
111 T &
112 Vector<T>::operator[](int i)
113 {
114   if (i < 0 || i >= size_)
115     exit(1);
116
117   return ptr_[i];
118 }
119
120
121
122 // Alta al final
123 template <typename T>
124 void
125 Vector<T>::push_back(const T & data)
126 {
127   T *aux;
128   aux = new T[size_ + 1];
129   for(int i=0; i<size_; i++)
130     aux[i] = ptr_[i];
131   aux[size_] = data;
132
133   delete [] ptr_;
134   ptr_ = aux;
135   size_++;
136 }
137
138
139
140 // Baja al final
141 template <typename T>
142 void
143 Vector<T>::pop_back()
144 {
145   T *aux;
146   aux = new T[size_ - 1];
147   for(int i=0; i<(size_-1); i++)
148     aux[i] = ptr_[i];
149
150   delete [] ptr_;
151   ptr_ = aux;
152   size_--;
153 }
```

10.4. Clase Complejo

10.4.1. complex.h

```
#ifndef _COMPLEX_H_INCLUDED_

#define _COMPLEX_H_INCLUDED_


#include <iostream>


class Complex

{

  public:

    Complex();

    Complex(double);

    Complex(double, double);

    Complex(const Complex &);

    Complex const &operator=(Complex const &);

    Complex const &operator*=(Complex const &);

    Complex const &operator+=(Complex const &);

    Complex const &operator-=(Complex const &);

    ~Complex();


    double real() const;

    double imag() const;

    double abs() const;

    double abs2() const;

    double phase() const;

    Complex const &conjugate();

    Complex const conjugated() const;

    bool iszero() const;

```

```
53
54
55      friend Complex const operator+(Complex const &, Complex const &);
56
57      friend Complex const operator-(Complex const &, Complex const &);
58
59      friend Complex const operator*(Complex const &, Complex const &);
60
61      friend Complex const operator/(Complex const &, Complex const &);
62
63      friend Complex const operator/(Complex const &, double);
64
65
66
67      friend bool operator==(Complex const &, double);
68
69      friend bool operator==(Complex const &, Complex const &);
70
71
72
73      friend std::ostream &operator<<(std::ostream &, const Complex &);
74
75      friend std::istream &operator>>(std::istream &, Complex &);
76
77
78
79    private:
80
81      double real_, imag_;
82
83  }; // class Complex
84
85
86
87  #endif // _COMPLEX_H_INCLUDED_
```

10.4.2. complex.cc

```
1  #include <iostream>
2
3  #include <cmath>
4
5
6
7  #include "complex.h"
8
9
10
11 using namespace std;
12
13
14
15
16
17
18
19 Complex::Complex() : real_(0), imag_(0)
```

```
20
21  {
22
23  }
24
25
26
27  Complex::Complex(double r) : real_(r), imag_(0)
28
29  {
30
31  }
32
33
34
35  Complex::Complex(double r, double i) : real_(r), imag_(i)
36
37  {
38
39  }
40
41
42
43  Complex::Complex(Complex const &c) : real_(c.real_), imag_(c.imag_)
44
45  {
46
47  }
48
49
50
51  Complex const &
52
53  Complex::operator=(Complex const &c)
54
55  {
56
57          real_ = c.real_;
58
59          imag_ = c.imag_;
60
61          return *this;
62
63  }
64
65
66
67  Complex const &
68
69  Complex::operator*=(Complex const &c)
70
71  {
72
73          double re = real_ * c.real_
74
75                  - imag_ * c.imag_;
```

```
76
77          double im = real_ * c.imag_
78
79                  + imag_ * c.real_;
80
81          real_ = re, imag_ = im;
82
83          return *this;
84
85  }
86
87
88
89  Complex const &
90
91  Complex::operator+=(Complex const &c)
92
93  {
94
95          double re = real_ + c.real_;
96
97          double im = imag_ + c.imag_;
98
99          real_ = re, imag_ = im;
100
101         return *this;
102
103 }
104
105
106
107 Complex const &
108
109 Complex::operator-=(Complex const &c)
110
111 {
112
113         double re = real_ - c.real_;
114
115         double im = imag_ - c.imag_;
116
117         real_ = re, imag_ = im;
118
119         return *this;
120
121 }
122
123
124
125 Complex::~Complex()
126
127 {
128
129 }
130
131
```

```
132
133 double
134
135 Complex::real() const
136
137 {
138
139         return real_;
140
141 }
142
143
144
145 double Complex::imag() const
146
147 {
148
149         return imag_;
150
151 }
152
153
154
155 double
156
157 Complex::abs() const
158
159 {
160
161         return std::sqrt(real_ * real_ + imag_ * imag_);
162
163 }
164
165
166
167 double
168
169 Complex::abs2() const
170
171 {
172
173         return real_ * real_ + imag_ * imag_;
174
175 }
176
177
178
179 double
180
181 Complex::phase() const
182
183 {
184
185   return atan2(imag_, real_);
186
187 }
```

```
188
189
190
191 Complex const &
192
193 Complex::conjugate()
194
195 {
196
197         imag_*= -1;
198
199         return *this;
200
201 }
202
203
204
205 Complex const
206
207 Complex::conjugated() const
208
209 {
210
211         return Complex(real_, -imag_);
212
213 }
214
215
216
217 bool
218
219 Complex::iszero() const
220
221 {
222
223 #define ZERO(x) ((x) == +0.0 && (x) == -0.0)
224
225         return ZERO(real_) && ZERO(imag_) ? true : false;
226
227 }
228
229
230
231 Complex const
232
233 operator+(Complex const &x, Complex const &y)
234
235 {
236
237         Complex z(x.real_ + y.real_, x.imag_ + y.imag_);
238
239         return z;
240
241 }
242
243
```

```
244
245 Complex const
246
247 operator-(Complex const &x, Complex const &y)
248
249 {
250
251         Complex r(x.real_ - y.real_, x.imag_ - y.imag_);
252
253         return r;
254
255 }
256
257
258
259 Complex const
260
261 operator*(Complex const &x, Complex const &y)
262
263 {
264
265         Complex r(x.real_ * y.real_ - x.imag_ * y.imag_,
266
267                   x.real_ * y.imag_ + x.imag_ * y.real_);
268
269         return r;
270
271 }
272
273
274
275 Complex const
276
277 operator/(Complex const &x, Complex const &y)
278
279 {
280
281         return x * y.conjugated() / y.abs2();
282
283 }
284
285
286
287 Complex const
288
289 operator/(Complex const &c, double f)
290
291 {
292
293         return Complex(c.real_ / f, c.imag_ / f);
294
295 }
296
297
298
299 bool
```

```
300
301 operator==(Complex const &c, double f)
302
303 {
304
305         bool b = (c.imag_ != 0 || c.real_ != f) ? false : true;
306
307         return b;
308
309 }
310
311
312
313 bool
314
315 operator==(Complex const &x, Complex const &y)
316
317 {
318
319         bool b = (x.real_ != y.real_ || x.imag_ != y.imag_) ? false : true;
320
321         return b;
322
323 }
324
325
326
327 ostream &
328
329 operator<<(ostream &os, const Complex &c)
330
331 {
332
333         return os << "("
334
335                   << c.real_
336
337                   << ", "
338
339                   << c.imag_
340
341                   << ")";
342
343 }
344
345
346
347 istream &
348
349 operator>>(istream &is, Complex &c)
350
351 {
352
353         int good = false;
354
355         int bad  = false;
```

```
356
357         double re = 0;
358
359         double im = 0;
360
361         char ch = 0;
362
363
364
365         if (is >> ch
366
367             && ch == '(') {
368
369                 if (is >> re
370
371                     && is >> ch
372
373                     && ch == ','
374
375                     && is >> im
376
377                     && is >> ch
378
379                     && ch == ')')
380
381                         good = true;
382
383                 else
384
385                         bad = true;
386
387         } else if (is.good()) {
388
389                 is.putback(ch);
390
391                 if (is >> re)
392
393                         good = true;
394
395                 else
396
397                         bad = true;
398
399         }
400
401
402
403         if (good)
404
405                 c.real_ = re, c.imag_ = im;
406
407         if (bad)
408
409                 is.clear(ios::badbit);
410
411
```

```
412
413         return is;
414
415 }
```

10.5. Funciones utilitarias

10.5.1. utilities.h

```
1  // ------------------------------------------------------------------------ //
2
3  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
4
5  // Algoritmos y Programación II
6
7  // 1° Cuatrimestre de 2015
8
9  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
10
11 // Cálculo de DFT
12
13 //
14
15 // utilities.h
16
17 // Funciones utilitarias para el propósito de la aplicación
18
19 // ------------------------------------------------------------------------ //
20
21
22
23 #ifndef _UTILITIES_H_INCLUDED_
24
25 #define _UTILITIES_H_INCLUDED_
26
27
28
29 #include <iostream>
30
31
32
33 #include "complex.h"
34
35 #include "vector.h"
36
37
38
39 void set_up_input(Vector<Complex> &);
40
41 Complex pow_complex(Complex const &, size_t);
42
43 size_t my_pow(size_t const &, size_t);
44
45
46
47 #endif
```

10.5.2. utilities.cc

```
1  // ------------------------------------------------------------------------- //
2
3  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
4
5  // Algoritmos y Programación II
6
7  // 1° Cuatrimestre de 2015
8
9  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
10
11 // Cálculo de DFT
12
13 //
14
15 // utilities.cc
16
17 // Funciones utilitarias para el propósito de la aplicación
18
19 // ------------------------------------------------------------------------- //
20
21
22
23 #include <iostream>
24
25 #include <fstream>
26
27 #include <sstream>
28
29 #include <cmath>
30
31
32
33 #include "utilities.h"
34
35 #include "complex.h"
36
37
38
39 using namespace std;
40
41
42
43
44
45
46
47 void
48
49 set_up_input(Vector<Complex> &input)
50
51 {
52
53   size_t n = input.size();
54
```

```
55
56
57    if (log2(n) - (int)log2(n)) {
58
59      size_t l = (int)log2(n) + 1;
60
61      size_t last = my_pow(2,l) - input.size();
62
63      for(size_t i=0;i<last;i++) {
64
65        input.push_back(0);
66
67      }
68
69    }
70
71    return;
72
73  }
74
75
76
77  Complex
78
79  pow_complex(Complex const &z, size_t p)
80
81  {
82
83    if(!p) return 1;
84
85
86
87    if(p == 1){
88
89      return z;
90
91    }
92
93    else{
94
95      Complex aux = pow_complex(z, p/2);
96
97      if(!(p%2))
98
99          return aux * aux;
100
101       else
102
103         return aux * aux * z;
104
105   }
106
107 }
108
109
110
```

```
111 size_t
112
113 my_pow(size_t const &n, size_t p)
114
115 {
116
117   if(!p) return 1;
118
119
120
121   if(p == 1){
122
123     return n;
124
125   }
126
127   else{
128
129     size_t aux = my_pow(n, p/2);
130
131     if(!(p%2))
132
133         return aux * aux;
134
135       else
136
137         return aux * aux * n;
138
139   }
140
141 }
```

10.6. Métodos para Transformar

10.6.1. dft_methods.h

```
1  // ------------------------------------------------------------------ //
2  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
3  // Algoritmos y Programación II
4  // 1° Cuatrimestre de 2015
5  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
6  // Cálculo de DFT
7  //
8  // dft_methods.h
9  // Interfaces de los distintos métodos de la transformada.
10 // ------------------------------------------------------------------ //
11
12 #ifndef _DFT_METHODS_H_
13 #define _DFT_METHODS_H_
14
15 #include <iostream>
16
17 #include "complex.h"
18 #include "vector.h"
19
20 #define PI 3.14159265358979323846264338327950
21
```

```
22 Vector<Complex> calculate_dft(Vector<Complex> const &);
23 Vector<Complex> calculate_idft(Vector<Complex> const &);
24 Vector<Complex> calculate_fft(Vector<Complex> const &);
25 Vector<Complex> calculate_ifft(Vector<Complex> const &);
26
27 Vector<Complex> calculate_fft_iter(Vector<Complex> const &);
28 Vector<Complex> calculate_ifft_iter(Vector<Complex> const &);
29
30 #endif
```

10.6.2. dft_methods.cc

```
1  // ------------------------------------------------------------------------ //
2  // Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires
3  // Algoritmos y Programación II
4  // 1° Cuatrimestre de 2015
5  // Trabajo Práctico 1: Recursividad
6  // Cálculo de DFT
7  //
8  // dft_methods.cc
9  // Implementación de los distintos métodos de la transformada.
10 // ------------------------------------------------------------------------ //
11
12 #include <iostream>
13 #include <cmath>
14
15 #include "dft_methods.h"
16 #include "complex.h"
17 #include "vector.h"
18 #include "utilities.h"
19
20 using namespace std;
21
22 // ------- DFT --------
23 // Función genérica para calcular DFT o IDFT
24 // Oculta al cliente.
25 // Si el flag "inverse" es "true", se calcula la inversa (IDFT)
26 // Caso contrario, la DFT
27 // Algoritmo iterativo para calcular la DFT
28 // Versión que utiliza función "pow" en cada iteración
29 static Vector<Complex>
30 calculate_dft_generic(Vector<Complex> const &x, bool inverse)
31 {
32   Complex aux;
33   size_t N;
34
35   N = x.size();
36
37   // Por defecto se calcula la DFT con estos parámetros:
38   double factor = 1;
39   int W_phase_sign = -1;
40
41   // En caso de tener que calcular la inversa,
42   // modifico el factor de escala y el signo de la fase de W.
43   if (inverse)
44   {
45     factor = 1.0/N;
```

```
46      W_phase_sign = 1;
47    }
48
49    Vector<Complex> X(N);
50
51    Complex W(cos((2*PI)/N),
52              W_phase_sign*sin((2*PI)/N));
53
54    for(size_t k=0;k<N;k++) {
55      for(size_t n=0;n<N;n++) {
56        aux += x[n] * pow_complex(W, n*k);
57      }
58      X[k] = factor * aux;
59      aux = 0;
60    }
61    return X;
62  }
63
64  // Máscara para la DFT
65  // Llama a la función genérica en modo "directa"
66  Vector<Complex>
67  calculate_dft(Vector<Complex> const &x)
68  {
69    bool inverse = false;
70    return calculate_dft_generic(x, inverse);
71  }
72
73  // Máscara para la IDFT
74  // Llama a la función genérica en modo "inversa"
75  Vector<Complex>
76  calculate_idft(Vector<Complex> const &X)
77  {
78    bool inverse = true;
79    return calculate_dft_generic(X, inverse);
80  }
81
82  // ------- FFT --------
83  // Función genérica para calcular FFT o IFFT
84  // Oculta al cliente.
85  // Si el flag "inverse" es "true", se calcula la inversa (IFFT)
86  // Caso contrario, la FFT
87  // Algoritmo recursivo para calcular la DFT: FFT
88  static Vector<Complex>
89  calculate_fft_generic(Vector<Complex> const &x, bool inverse)
90  {
91    size_t N;
92    N = x.size();
93
94    Vector<Complex> X(N);
95
96    // Por defecto se calcula la FFT con estos parámetros:
97    double factor = 1;
98    int W_phase_sign = -1;
99
100   // En caso de tener que calcular la inversa,
101   // modifico el factor de escala y el signo de la fase de W.
```

```
102   if (inverse)
103   {
104     factor = 1.0/N;
105     W_phase_sign = 1;
106   }
107
108   if (N > 1)
109   {
110     // Divido el problema en 2:
111     // Suponemos que la entrada es par y potencia de 2
112     Vector<Complex> p(N/2);
113     Vector<Complex> q(N/2);
114     Vector<Complex> P(N/2);
115     Vector<Complex> Q(N/2);
116     for (size_t i=0; i<N/2; i++)
117     {
118       p[i] = x[2*i];
119       q[i] = x[2*i+1];
120     }
121
122     P = calculate_fft(p);
123     Q = calculate_fft(q);
124
125     // Combino las soluciones:
126     for (size_t k=0; k<N; k++)
127     {
128       Complex W(cos(k*(2*PI)/N),
129                 W_phase_sign*sin(k*(2*PI)/N));
130       // Para que se repitan los elementos cíclicamente, se utiliza la función
            módulo
131       size_t k2 = k % (N/2);
132
133       X[k] = factor * (P[k2] + W*Q[k2]);
134     }
135   }
136   else
137   {
138     X = x;
139   }
140
141   return X;
142 }
143
144 // Máscara para la FFT
145 // Llama a la función genérica en modo "directa"
146 Vector<Complex>
147 calculate_fft(Vector<Complex> const &x)
148 {
149   bool inverse = false;
150   return calculate_fft_generic(x, inverse);
151 }
152
153 // Máscara para la IFFT
154 // Llama a la función genérica en modo "inversa"
155 Vector<Complex>
156 calculate_ifft(Vector<Complex> const &X)
```

```
157 {
158   bool inverse = true;
159   return calculate_fft_generic(X, inverse);
160 }
161
162 // ------- FFT_iter --------
163 // Función genérica para calcular FFT o IFFT versiones iterativas
164 // Oculta al cliente.
165 // Si el flag "inverse" es "true", se calcula la inversa (IFFT)
166 // Caso contrario, la FFT
167 // Algoritmo recursivo para calcular la DFT: FFT
168 static Vector<Complex>
169 calculate_fft_iter_generic(Vector<Complex> const &x, bool inverse)
170 {
171   size_t N;
172   N = x.size();
173
174   Vector<Complex> X(N);
175
176   // Por defecto se calcula la FFT con estos parámetros:
177   double factor = 1;
178   int W_phase_sign = -1;
179
180   // En caso de tener que calcular la inversa,
181   // modifico el factor de escala y el signo de la fase de W.
182   if (inverse)
183   {
184     factor = 1.0/N;
185     W_phase_sign = 1;
186   }
187
188   if (N > 1)
189   {
190     // Divido el problema en 2:
191     // Suponemos que la entrada es par y potencia de 2
192     Vector<Complex> p(N/2);
193     Vector<Complex> q(N/2);
194     Vector<Complex> P(N/2);
195     Vector<Complex> Q(N/2);
196     for (size_t i=0; i<N/2; i++)
197     {
198       p[i] = x[2*i];
199       q[i] = x[2*i+1];
200     }
201
202     P = calculate_fft_iter(p);
203     Q = calculate_fft_iter(q);
204
205     // Combino las soluciones:
206     for (size_t k=0; k<N; k++)
207     {
208       Complex W(cos(k*(2*PI)/N),
209                 W_phase_sign*sin(k*(2*PI)/N));
210       // Para que se repitan los elementos cíclicamente, se utiliza la función
          módulo
211       size_t k2 = k % (N/2);
```

```
212
213         X[k] = factor * (P[k2] + W*Q[k2]);
214       }
215     }
216     else
217     {
218       X = x;
219     }
220
221     return X;
222 }
223 Vector<Complex>
224 calculate_fft_iter(Vector<Complex> const &x)
225 {
226     bool inverse = false;
227     return calculate_fft_iter_generic(x, inverse);
228 }
229
230 Vector<Complex>
231 calculate_ifft_iter(Vector<Complex> const &X)
232 {
233     bool inverse = true;
234     return calculate_fft_iter_generic(X, inverse);
235 }
```

11. Enunciado