

---

COMPILANDO CONOCIMIENTO

# Introducción a la Programación Competitiva

CLUB DE ALGORITMIA ESCOM

Rosas Hernandez Oscar Andrés

Enero 2018

# Índice general

<b>I</b>	<b>Introducción a la Programación Competitiva</b>	<b>6</b>
<b>1.</b>	<b>¿Qué es la Programación Competitiva?</b>	<b>7</b>
1.1.	Introducción . . . . .	8
1.1.1.	Ejemplos . . . . .	8
1.2.	Propiedades de un problema . . . . .	9
<b>II</b>	<b>Un tour de C++ y lo que deberías saber de el</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>¿Porqué C++ ?</b>	<b>11</b>
2.1.	Ventajas de C++ . . . . .	12
2.2.	vs C . . . . .	14
2.3.	vs Java . . . . .	14
2.4.	vs Python . . . . .	14
<b>3.</b>	<b>Tipos de datos numéricos</b>	<b>15</b>
3.1.	Integers: Enteros . . . . .	16
3.1.1.	char . . . . .	16
3.1.2.	int . . . . .	17
3.1.3.	long long . . . . .	17
3.1.4.	unsigned . . . . .	17
3.1.5.	short . . . . .	18
3.1.6.	size_t . . . . .	18
3.2.	Floating Points: Puntos Flotantes . . . . .	19

3.3. Complex: Números Complejos . . . . .	19
<b>4. Bases del Lenguaje</b>	<b>20</b>
4.1. Condicionales . . . . .	20
4.2. Ciclos . . . . .	20
4.3. Funciones . . . . .	20
4.3.1. Recursion: Recursividad . . . . .	20
4.4. References and value types: Referencias o Valores . . . . .	20
4.4.1. Value types: Variables de valor . . . . .	20
4.4.2. Pointers: Apuntadores . . . . .	20
4.4.3. References: Referencias . . . . .	20
4.4.4. Move: Semánticas de Movimiento . . . . .	20
<b>5. Containers: Contenedores de la STD</b>	<b>21</b>
5.1. std::vector . . . . .	21
5.1.1. std::array . . . . .	21
5.2. std::string . . . . .	21
5.3. std::map . . . . .	21
5.4. std::set . . . . .	21
<b>6. Cosas cool la sintaxis</b>	<b>22</b>
6.1. auto . . . . .	22
6.2. for (auto x : container) . . . . .	22
<b>III Ideas de las Ciencias de la Computación</b>	<b>23</b>
<b>7. La Complejidad</b>	<b>24</b>
7.1. Cotas y Notaciones . . . . .	24
7.1.1. Big O Notation: Notación de O grande . . . . .	24
<b>8. Optimización</b>	<b>25</b>
8.1. Límites de Tiempo de Ejecución . . . . .	25

8.2. Límites de Memoria . . . . .	25
<b>9. Problemas NP</b>	<b>26</b>
<b>IV Estructuras de Datos</b>	<b>27</b>
10.Arrays	28
11.Stacks LIFO: Pilas	29
12.Queue FIFO: Colas	30
13.Linked Lists: Listas Enlazadas	31
14.Binary Trees: Arboles Binarios	32
14.1. BTS: Arboles de Búsqueda . . . . .	32
14.2. AVL - RedBlackTree: Arboles Autobalanceables . . . . .	32
14.3. Trie . . . . .	32
15.Heaps	33
16.Hash Tables	34
<b>V Algoritmos Generales</b>	<b>35</b>
17.Search: Búsquedas	36
17.1. Linear Search: Búsqueda Lineal . . . . .	36
17.2. Binary Search: Búsqueda Binaria . . . . .	36
17.3. Ternary Search: Búsqueda Ternaria . . . . .	36
17.4. Upper Bound . . . . .	36
17.5. Lower Bound . . . . .	36
18.Sorting: Ordenamiento por Comparaciones	37
18.1. Bubble Sort . . . . .	37

18.2. Selection Sort . . . . .	37
18.3. Merge Sort . . . . .	37
18.4. Quick Sort . . . . .	37
<b>19.Sorting: Ordenamiento NO por Comparaciones</b>	<b>38</b>
19.1. Bucket Sort . . . . .	38
<b>VI Programación es solo matemáticas aplicadas</b>	<b>39</b>
<b>20.Binary: Explotando el Binario</b>	<b>40</b>
20.1. Bits . . . . .	40
20.1.1. Manejo de Bits . . . . .	40
20.1.2. Operaciones con Bits . . . . .	40
20.2. Conversiones entre Sistemas . . . . .	40
20.3. Binary Exponentiation: Exponenciación Binaria . . . . .	40
20.4. Binary Multiplication: Multiplicación Binaria . . . . .	40
<b>21.Roots: Encontrar Raíces de ecuaciones</b>	<b>41</b>
21.1. Newton - Raphson . . . . .	41
<b>22.Teoría de Números</b>	<b>42</b>
22.1. Divisibilidad . . . . .	42
22.1.1. Euclides . . . . .	42
22.2. Modulos . . . . .	42
22.3. Fibonacci . . . . .	42
22.4. Números de Catalán . . . . .	42
22.5. Primos y Factores . . . . .	42
22.5.1. Eratosthenes Sieve: Criba de Eratóstenes . . . . .	42
22.5.2. Prime Factorization: Factorización . . . . .	42
22.5.3. Divisores . . . . .	42
22.5.4. Euler Totient: La Phi de Euler . . . . .	42

<b>23.Probabilidad</b>	<b>43</b>
23.1. Inclusión Exclusión . . . . .	43
<b>24.Geometría</b>	<b>44</b>
 <b>VII    Técnicas de Solución</b>	 <b>45</b>
<b>25.Ad-Hoc</b>	<b>46</b>
<b>26.Recursividad y BackTracking</b>	<b>47</b>
<b>27.Divide and Conquer: Divide y Vencerás</b>	<b>48</b>
<b>28.Greedy</b>	<b>49</b>
<b>29.Programación Dinámica</b>	<b>50</b>
 <b>VIII   Grafos y Flujos</b>	 <b>51</b>
<b>30.Grafos y Gráficas</b>	<b>52</b>
30.1. Representaciones . . . . .	52
30.2. BFS: Breadth-first Search . . . . .	52
30.3. DFS: Depth-first Search . . . . .	52
30.4. Dijkstra: Camino más cercano . . . . .	52

# Parte I

## Introducción a la Programación Competitiva

# Capítulo 1

## ¿Qué es la Programación Competitiva?



Figura 1.1: Imágen por Sharaft Siddiqui Reheb



## 1.1. Introducción

“ Given well-known CS (computer science) problems,  
solve them as quickly as possible! ”

“ Dados problemas famosos de ciencias de la computación,  
¡resuélvelos tan rápido como puedas! ”

- Competitive Programming 3 [1]

La programación competitiva es la actividad de resolver *problemas bastante conocidos de ciencias de la computación* mediante la creación de *programas* que obtengan la respuesta dentro de un cierto *límite*.

- **¿Problemas conocidos de ciencias de la computación?**

Los problemas que vamos a resolver están bien definidos, en los que para cualquier entrada tu tendrías que ser capaz de resolverlo por tu cuenta.

Además estarás informado de todas las restricciones del problema y todas las suposiciones que puedes tomar.

- **Tendrás que programar.**

Si, pero no como en tú día a día, no harás una aplicación web o con una interfaz super bonita, sino que son programas que toman sus datos de la entrada estándar y nos regresan la respuesta por la salida estándar, es decir, un programa de terminal.

- **Tendrás límites.**

Tu programa tendrá que resolver el problema con unas restricciones en tiempo y memoria, es decir, por ejemplo, tu programa tendrá que dar la solución en menos de 300ms y ocupando menos de 300MB de memoria.

### 1.1.1. Ejemplos

- On ta el pinche fácil pa irme? - OmegaUp
- Factores comunes - OmegaUp
- Reactores - OmegaUp

## 1.2. Propiedades de un problema

- Son calificados por una máquina

Generalmente usamos online judges (jueces en línea) para poder saber si hemos resuelto un problema, es decir, al final del día nuestro problema lo califica un programa.

Así que no hay puntos medios o tu programa funciona siempre y como debe o el juez te dirá que está mal.

- Tienen historia.

Muchas veces (casi siempre) los problemas están metidos dentro de una historia, está ayuda a que sea mucho más interesante y que te cueste más entender de que trata de verdad el problema.

Además personalmente ayuda mucho a la hora de aprender, pues es mucho más fácil que recuerdes una técnica por un problema en especial que te gusto mucho a que solo así por así como robot.

- Te dan ejemplos.

Incluso aunque el problema te dice que es exactamente lo que te está pidiendo es mucho más fácil para los humanos entender si nos dan ejemplos.

Esto también ayuda a que no malinterpretemos el problema y estemos resolviendo algo que no.

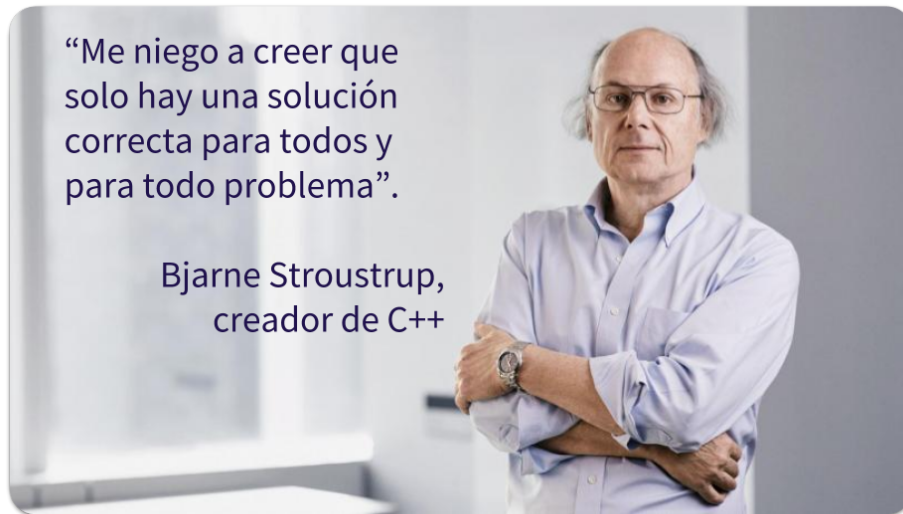
- El corazón del problema está relacionado siempre con matemáticas, lógica o ciencias de la computación.

## Parte II

Un tour de C++ y lo que deberías saber  
de el

## Capítulo 2

### ¿Porqué C++ ?



## 2.1. Ventajas de C++

Hay muchas razones por las cuales C++ es uno de los lenguajes más usados en la modernidad en la programación competitiva (si no es que el más).

Puedes escuchar un video muy bonito para mi sobre porque elegir este lenguaje:

Bjarne Stroustrup: Why I Created C++

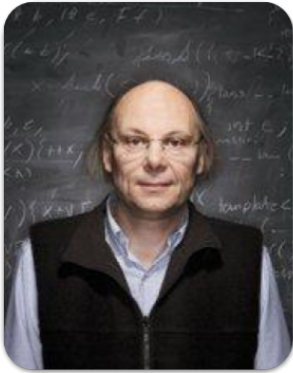


Figura 2.1: Este es el creador del lenguaje (reto: decir su nombre en voz alta) Bjarne Stroustrup

Las principales razones por C++ sin un orden en particular son:

- **Te da abstracciones sin costo extra.**

O como lo diría su creador te da el poder de usar abstracciones de alto nivel pero estando muy cerca del hardware, o como lo diría en inglés:

“ C++ has the zero-overhead principle: **what you don't use, you don't pay for**, that is, with every new feature added to the language, you get at least as good performance as if that feature will not be included.

Also there are the principle: **What you do use cost either only as much as what you'd implement yourself, or it cost less**, meaning that a new feature can either mantain or improve the performance. ”

Personalmente creo que esa es mayor ventaja que tiene sobre todos los demás, creo que esa frase resume perfectamente todo el objetivo de C++ .

Lo que nos dice esto es que podremos representar grafos, matrices, operaciones, clases en general, algoritmos, etc... en nuestros programas con gran facilidad, cosa que no podemos hacer fácilmente por ejemplo en lenguajes como C o la familia de los ensambladores.

*Y podrías decir, pero en Java o en Python podemos representar de una manera igual de fácil (siendo muy exactos no creo que sea el caso, pero esa es otra historia amigos) así que ... ¿porqué usar C++ ?*

Pues porque en todos los demás lenguajes estas pagando un costo (a veces muy grande de varios cientos o miles de veces) por poder representar ideas o conceptos abstractos en un programa, en C++ esta prácticamente garantizado que usar una clase por ejemplo o que usar un arreglo que se auto dimensiona no será más costoso que si lo hubieras hecho tu desde ensamblador.

- **Tienes a la STD a tu lado**

Esta es otra gran ventaja, ya que siguiendo con la mentalidad de abstracciones sin costo extra tenemos gracias a la gran librería estándar un montón de cosas que no tenemos que hacer desde cero, desde arreglos que cambian de tamaño, arreglos asociativos, pilas, colas, algoritmos de ordenamiento, de búsqueda, algoritmos para acumular, para hacer particiones o permutaciones, etc...

Así podemos dejar los algoritmos básicos al lenguaje y enfocarnos en las cosas que son de verdad interesantes.

- **Es compilado, el compilador es tu amigo**

Otra ventaja más, podemos siempre confiar en el compilador, en que si nuestro programa compila muy probablemente está haciendo lo que debe hacer (cosa que no podemos esperar con python por ejemplo), el compilador es tu amigo, te dirá en donde te equivocaste, en donde puede que hayas querido decir otra cosa y muchas veces te dará consejos, además, tras bambalinas está transformando tu código en algo que la computadora puede de verdad entender y además usará toda la información que le diste para muchas veces incluso mejorar tu código en vez de solo “traducirlo” y optimizarlo de maneras que me sorprenden personalmente.

- **Es prácticamente un “super set” de C**

Es decir, que cualquier código válido de C es válido en C++ , esto es de gran ayuda pues C es uno de los lenguajes más conocidos por lo que puede que la sintaxis de C++ sea más fácil que entender la sintaxis de Haskell, por ejemplo.

Otra ventaja es que al estar basados en C conserva muchas de las ventajas de C como su portabilidad, su velocidad de ejecución y la capacidad de tener un gran control de todos los recursos del sistema (memoria y tiempo de vida de un objeto, cough cough Java y su recolector de basura)

- **Tienes un gran control de todos los recursos del sistema**

Esto es también es muy importante, pues nos dice que en C++ podemos controlar con gran lujo de detalle cuando un pedazo de memoria ya no es usado y deberíamos liberarlo ayudando con esto a aumentar la velocidad de nuestro programa o cuando queremos usar una variable local y cuando queremos usar memoria del heap, tenemos el control de decidir si queremos pasar las cosas por referencia o por valor, si deseamos mover un objeto o si una referencia no podrá ser modificada.

## 2.2. vs C

El gran problema con C es que es un lenguaje muy pequeño en el sentido en que todo lo tienes que hacer tu, si quieres hacer un problema que involucra cosas medio complejas todas las estructuras las tienes que codear al momento, y en un deporte de tiempo, cada segundo cuenta, así que en resumen, lo que “mata” a C es la falta de algo parecido a la std de C++ .

Aunque para problemas sencillos C también puede ser una opción, (pero ya que C++ es casi casi un superset de C podrías entonces igualde fácil hacerlo en C++).

## 2.3. vs Java

Con toda honestidad hay un porcentaje de la comunidad de programación competitiva que usan Java, así que si que es una opción viable, sobretodo por su gran librería estándar y también porque en C++ no hay algo parecido a `BigInteger` y `BigDecimal` y suelen ser muchos los problemas que lo requieran, así que si bien C++ podría ser tu lenguaje por defecto es importante que también conozcas lo básico de Java (O Kotlin si quieres ser feliz).

## 2.4. vs Python

Python es un gran lenguaje pero tiene todas las de perder en programación competitiva pues a ser interpretado y debilmente tipado, sus programas acaban siendo muy lentos incluso usando el algoritmo correcto, eso si, hay varias aplicaciones útiles de Python, como que todos los enteros tienen infinita precisión por defecto (aka `BigInteger` como en Java).

Así que tampoco es una mala idea aprenderlo por si se necesita un día, pero definitivamente no es la mejor idea para ser tu lenguaje por defecto en programación competitiva.

## Capítulo 3

### Tipos de datos numéricos



## 3.1. Integers: Enteros

Recuerda que esta sección del texto no es una introducción a la programación para alguien que nunca ha programado nada en su vida, sino solo para alguien que no sabe C++ .

C++ (y C) maneja varios tamaños estándares de enteros, el más clásico es `int`, pero no es el único, los demás solo cambian en tamaño (y por lo tanto los números que podemos almacenar) y estos son, de menor a mayor: `char`, `short`, `int`, `long`, `long long`.

Ahora podemos aplicarles a estos tipos un modificador, `unsigned`, que nos permite que no puedan representar los negativos, a cambio nos da el doble de espacio, por lo que podemos representar un entero hasta el doble de grande.

Así que con esto conocido, veamos las características más detalladamente de cada tipo: Pero si quieres un resumen, C++ garantiza que:

```
sizeof(char) <= sizeof(short) <= sizeof(int) <= sizeof(long) <=
sizeof(long long);
```

### 3.1.1. char

A ver, técnicamente este tipo de dato como su nombre lo dice esta diseñado para almacenar un carácter, lo que pasa es que en computación (no nos compliquemos la vida con UTF ahora) un carácter como `'a'` ó `'p'` se representa internamente usando el código ASCII (deberías buscar más de esto cuando tengas tiempo).

Total, que en resumen este tipo de dato nació para almacenar un carácter de ASCII, por lo tanto es un tipo de datos numérico que va de 0 a 255.

No te preocupes si no entiendes las primeras líneas, pero si lo haces, muy bien por ti.

```
auto character {'a'}; // character is a char!
char number {23}; // number is a char!
('a' == 97) and ('z' == 122); // true: ASCII is numbers
('A' == 65) and ('Z' == 90); // true: ASCII is numbers
('A' + 1 == 'B') and ('Z' - 1 == 'Y'); // You can do arithmetic

auto size {"char is 1 byte"};
char minValue {-128};
char maxValue {127};
```

### 3.1.2. int

Es el tipo de dato numérico estándar en C++ , así que si declaras un número con `auto` entonces lo más probable es que sea `int`.

Ahora, pasa algo raro con este tipo de dato, que dependiendo de la máquina en la que compiles entonces puede tener 2 o 4 bytes de tamaño (usa el que sea más eficiente para el sistema), aun así, casi nunca compilaras en algún sistema que te diga que un `int` es de 2 bytes, así que para este texto usaremos que `int` es de 4 bytes.

```
auto number {23}; // number is an int!

auto size {"int is 4 bytes"};
int minValue {-2,147,483,648};
int maxValue {2,147,483,647};
```

### 3.1.3. long long

Este no es un tipo de dato, per se, sino que es un modificador que le puedes aplicar a `int` y con esto lo que logras es duplicar el tamaño de un `int` (suponiendo que `int` tenga 4 bytes de tamaño, y creeme, seguramente es así).

```
int normalVariable {}; // It takes 4 bytes
long long int normalVariable {}; // It takes 8 bytes
auto number {1,000,000,000,000,000,000} // number is long long

auto size {"long long int is 8 bytes"};
int minValue {-9,223,372,036,854,775,808};
int maxValue {9,223,372,036,854,775,807};
```

### 3.1.4. unsigned

Lo que hace este modificador (exacto, esto tampoco es un tipo de dato) es eliminar el signo de los tipos numéricos, es decir el entero más bajo que vas a poder guardar va a ser el 0, pero con ello vas a lograr duplicar el máximo entero que puedes almacenar y no aumentas para nada el espacio necesario :o

```
char maxValueChar {127};
unsigned char maxValueIntUnsigned {255};

int maxValueInt {2,147,483,647};
unsigned int maxValueIntUnsigned {4,294,967,295};

long long maxValueLL {9,223,372,036,854,775,807};
unsigned long long maxValueLLUnsigned {18,446,744,073,709,551,615};
```

### 3.1.5. short

Hace lo inverso que `long`, en vez que duplicar el tamaño lo parte a la mitad, y ya, solo eso :v

```
auto size {"short is 2 bytes"};  
short int minValue {-32,768};  
short int maxValue {32,767};
```

### 3.1.6. size\_t

Este es especial y muchas veces lo usaré como estándar de tipo numérico y es que usamos muchas veces los enteros como índice de un contenedor.

Bien pues `size_t` es un tipo de dato especial que nos da C++ que nos asegura que será tan grande como necesitemos para usarlo como índice de cualquier contenedor.

Nota que como lo usamos para índice, este tipo de dato no tiene signo.

Por ejemplo, `std::vector`, `std::string`, `std::array` y más lo usan como índice.

## 3.2. Floating Points: Puntos Flotantes

A primera vista, los números de punto flotante parecen simples. Son solo enteros con puntos decimales, ¿verdad? ¿Por qué no los usamos todo el tiempo, ya que pueden almacenar una mayor variedad de números?

La respuesta es sencilla, no son precisos.

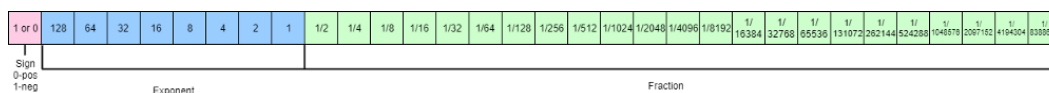


Figura 3.1: Representación del `float` en C++

Y ya, solo por eso, intenta poner en Python o en C++ si quieres esto `(0.1 + 0.2) == 0.3` y verás que es falso, la razón es que los números de punto flotante tienen una cantidad limitada de dígitos de precisión.

Así que esta bien usarlos y todo, pero porfavor, hazlo con cuidado.

Además así como `long long` era el doble que `int`, así `double` tiene el doble de precisión (de ahí el nombre :v) que el clásico tipo de dato de punto flotante el `float`.

## 3.3. Complex: Números Complejos

Esta sección igual será corta, lo único que quiero decirte por si un día lo ocupas es que C++ tiene una clase que nos permite representar a los complejos.

Nunca lo he ocupado de manera personal y no creo que sea el momento, en un texto introductorio de C++, pero si un día lo necesitas, recuerda que C++ ya lo tiene integrado.

# Capítulo 4

## Bases del Lenguaje

### 4.1. Condicionales

### 4.2. Ciclos

### 4.3. Funciones

#### 4.3.1. Recursion: Recursividad

### 4.4. References and value types: Referencias o Valores

#### 4.4.1. Value types: Variables de valor

#### 4.4.2. Pointers: Apuntadores

#### 4.4.3. References: Referencias

#### 4.4.4. Move: Semánticas de Movimiento

# Capítulo 5

## Containers: Contenedores de la STD

### 5.1. `std::vector`

#### 5.1.1. `std::array`

### 5.2. `std::string`

### 5.3. `std::map`

### 5.4. `std::set`

# Capítulo 6

## Cosas cool la sintaxis

6.1. `auto`

6.2. `for (auto x : container)`

## Parte III

# Ideas de las Ciencias de la Computación



# Capítulo 7

## La Complejidad

### 7.1. Cotas y Notaciones

#### 7.1.1. Big O Notation: Notación de O grande

# Capítulo 8

## Optimización

### 8.1. Límites de Tiempo de Ejecución

### 8.2. Límites de Memoria

## Capítulo 9

### Problemas NP

# Parte IV

## Estructuras de Datos

# Capítulo 10

## Arrays

# Capítulo 11

## Stacks LIFO: Pilas

## Capítulo 12

### Queue FIFO: Colas

## Capítulo 13

### Linked Lists: Listas Enlazadas



# Capítulo 14

## Binary Trees: Arboles Binarios

14.1. BTS: Arboles de Búsqueda

14.2. AVL - RedBlackTree: Arboles Autobalanceables

14.3. Trie

## Capítulo 15

### Heaps

# Capítulo 16

## Hash Tables

Parte V

Algoritmos Generales

# Capítulo 17

## Search: Búsquedas

17.1. Linear Search: Búsqueda Lineal

17.2. Binary Search: Búsqueda Binaria

17.3. Ternary Search: Búsqueda Ternaria

17.4. Upper Bound

17.5. Lower Bound

# Capítulo 18

## Sorting: Ordenamiento por Comparaciones

18.1. Bubble Sort

18.2. Selection Sort

18.3. Merge Sort

18.4. Quick Sort

## Capítulo 19

# Sorting: Ordenamiento NO por Comparaciones

### 19.1. Bucket Sort

## Parte VI

Programación es solo matemáticas  
aplicadas



# Capítulo 20

## Binary: Explotando el Binario

### 20.1. Bits

#### 20.1.1. Manejo de Bits

#### 20.1.2. Operaciones con Bits

### 20.2. Conversiones entre Sistemas

### 20.3. Binary Exponentiation: Exponenciación Binaria

### 20.4. Binary Multiplication: Multiplicación Binaria

## Capítulo 21

### Roots: Encontrar Raíces de ecuaciones

#### 21.1. Newton - Ranphson

# Capítulo 22

## Teoría de Números

### 22.1. Divisibilidad

#### 22.1.1. Euclides

### 22.2. Modulos

### 22.3. Fibonacci

### 22.4. Números de Catalán

### 22.5. Primos y Factores

#### 22.5.1. Eratosthenes Sieve: Criba de Eratóstenes

#### 22.5.2. Prime Factorization: Factorización

#### 22.5.3. Divisores

#### 22.5.4. Euler Totient: La Phi de Euler

# Capítulo 23

## Probabilidad

### 23.1. Inclusión Exclusión

## Capítulo 24

### Geometría

# Parte VII

## Técnicas de Solución

## Capítulo 25

### Ad-Hoc

## Capítulo 26

# Recursividad y BackTracking



## Capítulo 27

### Divide and Conquer: Divide y Vencerás

## Capítulo 28

### Greedy

## Capítulo 29

# Programación Dinámica

## Parte VIII

# Grafos y Flujos

# Capítulo 30

## Grafos y Gráficas

30.1. Representaciones

30.2. BFS: Breadth-first Search

30.3. DFS: Depth-first Search

30.4. Dijkstra: Camino más cercano

# Bibliografía

- [1] Competitive Programming 3, *Halim and Halim, 2013*.