

Apuntes de C++ para Algoritmos y Complejidad

Cristian Quintanilla Ponce | José Alvarado Toro

12 de noviembre de 2025

Índice

1. Contenedor vector	5
1.1. Introducción	5
1.2. Operaciones importantes	5
1.2.1. Declaracion e inicializacion	5
1.2.2. Agregar elementos: <code>push_back()</code>	5
1.2.3. Eliminar último elemento: <code>pop_back()</code>	5
1.2.4. Acceso a elementos: <code>operator[]</code> y <code>at()</code>	5
1.2.5. Tamano y capacidad	5
1.2.6. Reservar espacio y cambiar tamano	5
1.2.7. Insertar y borrar en posiciones arbitrarias	5
1.2.8. Recorrer el vector	5
1.2.9. Primer y último elemento	5
1.2.10. Eliminar todos los elementos	5
1.2.11. Intercambiar contenidos	5
1.3. Complejidad típica	5
2. Contenedor list	6
2.1. Introducción	6
2.2. Operaciones importantes	6
2.2.1. Declaracion e inicializacion	6
2.2.2. Agregar y eliminar elementos al inicio o final	6
2.2.3. Acceder al primer y ultimo elemento	6
2.2.4. Insertar y borrar en posiciones arbitrarias	6
2.2.5. Recorrer la lista	6
2.2.6. Tamaño y estado	6
2.2.7. Eliminar elementos especificos	6
2.2.8. Ordenar, invertir y eliminar duplicados	6
2.2.9. Fusionar dos listas ordenadas	6
2.2.10. Intercambiar contenidos	6
2.3. Complejidad típica	6
3. Adaptador stack	6
3.1. Introducción	6
3.2. Operaciones importantes	7
3.2.1. Declaración e inicialización	7
3.2.2. Agregar elemento: <code>push()</code>	7
3.2.3. Acceder al elemento superior: <code>top()</code>	7
3.2.4. Eliminar elemento superior: <code>pop()</code>	7
3.2.5. Tamaño y estado	7
3.2.6. Patrón típico: procesar todos los elementos	7
3.2.7. Intercambiar contenidos	7
3.3. Complejidad típica	7

4. Adaptador queue	7
4.1. Introducción	7
4.2. Operaciones importantes	7
4.2.1. Declaración e inicialización	7
4.2.2. Agregar elemento: <code>push()</code>	7
4.2.3. Acceder al primer elemento: <code>front()</code>	7
4.2.4. Acceder al último elemento: <code>back()</code>	7
4.2.5. Eliminar primer elemento: <code>pop()</code>	8
4.2.6. Tamaño y estado	8
4.2.7. Patrón típico: procesar todos los elementos	8
4.2.8. Intercambiar contenidos	8
4.3. Complejidad típica	8
5. Adaptador priority_queue	8
5.1. Introducción	8
5.2. Operaciones importantes	8
5.2.1. Declaración e inicialización	8
5.2.2. Agregar elemento: <code>push()</code>	8
5.2.3. Acceder al elemento de mayor prioridad: <code>top()</code>	8
5.2.4. Eliminar elemento de mayor prioridad: <code>pop()</code>	8
5.2.5. Tamaño y estado	8
5.2.6. Patrón típico: procesar por prioridad	8
5.2.7. Min-heap: menor elemento primero	9
5.2.8. Intercambiar contenidos	9
5.3. Complejidad típica	9
6. Contenedor deque	9
6.1. Introducción	9
6.2. Operaciones importantes	9
6.2.1. Declaración e inicialización	9
6.2.2. Agregar elementos al final: <code>push_back()</code>	9
6.2.3. Agregar elementos al inicio: <code>push_front()</code>	9
6.2.4. Eliminar último elemento: <code>pop_back()</code>	9
6.2.5. Eliminar primer elemento: <code>pop_front()</code>	9
6.2.6. Acceso a elementos: <code>operator[]</code> y <code>at()</code>	9
6.2.7. Primer y último elemento	9
6.2.8. Tamaño y estado	9
6.2.9. Cambiar tamaño	9
6.2.10. Insertar y borrar en posiciones arbitrarias	9
6.2.11. Recorrer el deque	10
6.2.12. Eliminar todos los elementos	10
6.2.13. Intercambiar contenidos	10
6.3. Complejidad típica	10
6.4. Diferencias con <code>vector</code>	10
7. Contenedor set	10
7.1. Introducción	10
7.2. Operaciones importantes	10
7.2.1. Declaración e inicialización	10
7.2.2. Insertar elementos: <code>insert()</code>	10
7.2.3. Buscar elementos: <code>find()</code>	10
7.2.4. Contar elementos: <code>count()</code>	10
7.2.5. Verificar existencia: <code>contains()</code> (C++20)	10
7.2.6. Eliminar elementos: <code>erase()</code>	11
7.2.7. Tamaño y estado	11
7.2.8. Recorrer el set (siempre ordenado)	11
7.2.9. Primer y último elemento	11
7.2.10. Límites: <code>lower_bound()</code> y <code>upper_bound()</code>	11
7.2.11. Eliminar todos los elementos	11
7.2.12. Intercambiar contenidos	11
7.3. Complejidad típica	11

8. Contenedor multiset	11
8.1. Introducción	11
8.2. Operaciones importantes	11
8.2.1. Declaración e inicialización	11
8.2.2. Insertar elementos: <code>insert()</code>	11
8.2.3. Buscar elementos: <code>find()</code>	11
8.2.4. Contar elementos: <code>count()</code>	12
8.2.5. Eliminar elementos: <code>erase()</code>	12
8.2.6. Tamaño y estado	12
8.2.7. Recorrer el multiset (incluye duplicados)	12
8.2.8. Primer y último elemento	12
8.2.9. Rango de elementos iguales: <code>equal_range()</code>	12
8.2.10. Límites: <code>lower_bound()</code> y <code>upper_bound()</code>	12
8.2.11. Eliminar todos los elementos	12
8.2.12. Intercambiar contenidos	12
8.3. Complejidad típica	12
8.4. Diferencias con <code>set</code>	12
9. Contenedor string	12
9.1. Introducción	12
9.2. Operaciones importantes	12
9.2.1. Declaración e inicialización	12
9.2.2. Concatenación: <code>operator+</code> y <code>append()</code>	13
9.2.3. Acceso a caracteres: <code>operator[]</code> y <code>at()</code>	13
9.2.4. Primer y último carácter: <code>front()</code> y <code>back()</code>	13
9.2.5. Tamaño: <code>size()</code> , <code>length()</code> y <code>empty()</code>	13
9.2.6. Modificar tamaño: <code>resize()</code> y <code>clear()</code>	13
9.2.7. Insertar texto: <code>insert()</code>	13
9.2.8. Eliminar texto: <code>erase()</code>	13
9.2.9. Reemplazar texto: <code>replace()</code>	13
9.2.10. Buscar texto: <code>find()</code>	13
9.2.11. Buscar desde el final: <code>rfind()</code>	13
9.2.12. Buscar primer/último de un conjunto: <code>find_first_of()</code> y <code>find_last_of()</code>	14
9.2.13. Buscar primer carácter que NO esté en conjunto: <code>find_first_not_of()</code>	14
9.2.14. Subcadenas: <code>substr()</code>	14
9.2.15. Comparación: <code>compare()</code> y operadores	14
9.2.16. Conversión a C-string: <code>c_str()</code> y <code>data()</code>	14
9.2.17. Conversión de números a string	14
9.2.18. Conversión de string a números	14
9.2.19. Recorrer string	14
9.2.20. Transformaciones comunes	14
9.2.21. Eliminar espacios al inicio/final	14
9.2.22. Dividir string (<code>split</code>)	15
9.2.23. Intercambiar contenidos	15
9.3. Complejidad típica	15
10. Contenedor map	15
10.1. Introducción	15
10.2. Operaciones importantes	15
10.2.1. Declaración e inicialización	15
10.2.2. Insertar elementos: <code>insert()</code> y <code>operator[]</code>	15
10.2.3. Acceder a valores: <code>operator[]</code> y <code>at()</code>	15
10.2.4. Buscar elementos: <code>find()</code>	15
10.2.5. Verificar existencia: <code>count()</code> y <code>contains()</code>	16
10.2.6. Eliminar elementos: <code>erase()</code>	16
10.2.7. Tamaño y estado	16
10.2.8. Recorrer el map (ordenado por clave)	16
10.2.9. Primera y última entrada	16
10.2.10. Límites: <code>lower_bound()</code> y <code>upper_bound()</code>	16
10.2.11. Modificar valores existentes	16
10.2.12. Eliminar todos los elementos	16
10.2.13. Intercambiar contenidos	16

10.3. Complejidad típica	16
11. Algoritmos de la STL	16
11.1. Introducción	16
11.2. Algoritmos de ordenamiento	16
11.2.1. Ordenar: <code>sort()</code>	16
11.2.2. Ordenar parcialmente: <code>partial_sort()</code>	17
11.2.3. Verificar si está ordenado: <code>is_sorted()</code>	17
11.3. Algoritmos de búsqueda	17
11.3.1. Búsqueda binaria: <code>binary_search()</code>	17
11.3.2. Límites: <code>lower_bound()</code> y <code>upper_bound()</code>	17
11.3.3. Buscar elemento: <code>find()</code>	17
11.3.4. Buscar con condición: <code>find_if()</code>	17
11.4. Algoritmos de modificación	17
11.4.1. Invertir: <code>reverse()</code>	17
11.4.2. Copiar: <code>copy()</code>	17
11.4.3. Llenar: <code>fill()</code>	17
11.4.4. Transformar: <code>transform()</code>	17
11.4.5. Reemplazar: <code>replace()</code>	17
11.4.6. Eliminar duplicados: <code>unique()</code>	17
11.4.7. Rotar: <code>rotate()</code>	18
11.5. Algoritmos de permutación	18
11.5.1. Siguiendo permutación: <code>next_permutation()</code>	18
11.5.2. Permutación anterior: <code>prev_permutation()</code>	18
11.6. Algoritmos de conjunto	18
11.6.1. Unión: <code>set_union()</code>	18
11.6.2. Intersección: <code>set_intersection()</code>	18
11.6.3. Diferencia: <code>set_difference()</code>	18
11.7. Algoritmos numéricos	18
11.7.1. Sumar elementos: <code>accumulate()</code>	18
11.7.2. Mínimo y máximo: <code>min_element()</code> y <code>max_element()</code>	18
11.7.3. Contar elementos: <code>count()</code> y <code>count_if()</code>	18
11.8. Algoritmos de verificación	18
11.8.1. Verificar condición: <code>all_of()</code> , <code>any_of()</code> , <code>none_of()</code>	18
12. Funciones Útiles y Patrones Comunes	19
12.1. Generación de Permutaciones	19
12.1.1. Función para generar todas las permutaciones	19
12.2. Generación de Subconjuntos (Bitmask)	19
12.2.1. Función para generar todos los subconjuntos	19
13. Backtracking	20
13.1. Introducción	20
13.2. Fuerza Bruta (Brute Force)	20
13.3. BackTracking	20

1. Contenedor vector

1.1. Introducción

`vector` es un contenedor secuencial de la STL que ofrece un **arreglo dinámico**: los elementos se almacenan en memoria contigua y el vector puede crecer o reducir su tamaño automáticamente. Es ideal cuando se necesita **acceso aleatorio por índice** y crecimiento dinámico. Las operaciones de inserción o eliminación al final son rápidas (amortizadas $O(1)$), pero insertar o borrar en el medio o al inicio puede ser costoso ($O(n)$).

1.2. Operaciones importantes

1.2.1. Declaración e inicialización

```
#include <vector>
#include <string>

// Declaraciones
vector<int> v1; // vacío
vector<int> v2(5); // 5 elementos inicializados a 0
vector<int> v3(5, 42); // 5 elementos con valor 42
vector<int> v4 = {1, 2, 3, 4}; // inicialización con lista
vector<string> names = {"Ana", "Luis"};
```

1.2.2. Agregar elementos: `push_back()`

Añade un elemento al final del vector. Complejidad amortizada $O(1)$.

```
vector<int> v;
v.push_back(10);
v.push_back(20); // v = {10, 20}
```

1.2.3. Eliminar último elemento: `pop_back()`

Elimina el último elemento (no devuelve su valor).

```
if (!v.empty()) {
    v.pop_back(); // elimina 20
}
```

1.2.4. Acceso a elementos: `operator[]` y `at()`

`operator[]` no comprueba límites; `at()` lanza `out_of_range` si el índice no es válido.

```
v[0] = 5; // rápido, sin comprobación
try {
    v.at(2) = 7; // seguro
} catch (const out_of_range& e) {
    // manejo de error
}
int x = v[0]; // lectura
```

1.2.5. Tamaño y capacidad

```
cout << "size: " << v.size() << "\n";
cout << "capacity: " << v.capacity() << "\n";
if (v.empty()) cout << "vacío\n";
```

1.2.6. Reservar espacio y cambiar tamaño

`reserve(n)` reserva capacidad; `resize(n)` cambia el tamaño lógico.

```
v.reserve(100); // reserva espacio para 100 elementos
v.resize(8); // cambia tamaño a 8 (añade ceros)
v.resize(3); // reduce tamaño a 3
```

1.2.7. Insertar y borrar en posiciones arbitrarias

Inserta o elimina en el medio (coste $O(n)$).

```
vector<int> a = {1,2,4,5};
auto it = a.begin() + 2; // apunta al 4
a.insert(it, 3); // a = {1,2,3,4,5}
a.erase(a.begin() + 1); // a = {1,3,4,5}
```

1.2.8. Recorrer el vector

```
// range-based for
for (int x : a) cout << x << ' ';

// iteradores
for (auto it = a.begin(); it != a.end(); ++it)
    *it += 1;

// por índice
for (size_t i = 0; i < a.size(); ++i)
    cout << a[i] << ' ';
```

1.2.9. Primer y último elemento

```
if (!a.empty()) {
    cout << "first: " << a.front()
         << ", last: " << a.back();
}
```

1.2.10. Eliminar todos los elementos

```
a.clear(); // tamaño 0, mantiene capacidad
// liberar memoria
a.shrink_to_fit();
```

1.2.11. Intercambiar contenidos

```
vector<int> x = {1,2,3}, y = {9,8};
x.swap(y); // x = {9,8}, y = {1,2,3}
```

1.3. Complejidad típica

- Acceso por índice: $O(1)$
- `push_back`: amortizada $O(1)$
- `insert/erase` en medio: $O(n)$
- `clear`: $O(n)$

2. Contenedor list

2.1. Introducción

`list` es un contenedor secuencial que implementa una **lista doblemente enlazada**. Cada elemento contiene punteros al anterior y al siguiente, lo que permite insertar o eliminar elementos en cualquier posición en tiempo constante $O(1)$, siempre que se tenga un iterador a esa posición. A diferencia de `vector`, no ofrece acceso aleatorio rápido (no se puede usar el operador `[]`).

2.2. Operaciones importantes

2.2.1. Declaración e inicialización

```
#include <list>
#include <string>

list<int> l1; // vacia
list<int> l2(5, 100); // 5 elementos
// con valor 100
list<int> l3 = {1, 2, 3, 4}; // inicialización
// con lista
list<string> names = {"Ana", "Luis"};
```

2.2.2. Agregar y eliminar elementos al inicio o final

`push_front()` y `push_back()` permiten insertar rápido al inicio o final. `pop_front()` y `pop_back()` eliminan esos elementos.

```
list<int> l = {2, 3};
l.push_front(1); // {1,2,3}
l.push_back(4); // {1,2,3,4}
l.pop_front(); // {2,3,4}
l.pop_back(); // {2,3}
```

2.2.3. Acceder al primer y último elemento

```
if (!l.empty()) {
    cout << "first: " << l.front()
         << ", last: " << l.back();
}
```

2.2.4. Insertar y borrar en posiciones arbitrarias

Usando iteradores, se puede insertar o eliminar en cualquier parte en $O(1)$.

```
list<int> a = {1,2,4};
auto it = next(a.begin(), 2); // apunta al 4
a.insert(it, 3); // {1,2,3,4}
a.erase(next(a.begin())); // elimina el 2
// -> {1,3,4}
```

2.2.5. Recorrer la lista

```
// range-based for
for (int x : a) cout << x << ' ';

// iteradores
for (auto it = a.begin(); it != a.end(); ++it)
    *it *= 2;
```

2.2.6. Tamaño y estado

```
cout << "size: " << a.size() << "\n";
if (a.empty()) cout << "lista vacia\n";
```

2.2.7. Eliminar elementos específicos

```
list<int> b = {1,2,3,2,4};
b.remove(2); // elimina todos los valores
// iguales a 2 -> {1,3,4}
```

2.2.8. Ordenar, invertir y eliminar duplicados

`sort()`, `reverse()` y `unique()` operan en la propia lista.

```
list<int> nums = {4,1,3,2,3};
nums.sort(); // {1,2,3,3,4}
nums.unique(); // {1,2,3,4}
nums.reverse(); // {4,3,2,1}
```

2.2.9. Fusionar dos listas ordenadas

```
list<int> l1 = {1,3,5};
list<int> l2 = {2,4,6};
l1.merge(l2); // l1 = {1,2,3,4,5,6}, l2 queda
// vacia
```

2.2.10. Intercambiar contenidos

```
list<int> x = {1,2}, y = {9,8};
x.swap(y); // x = {9,8}, y = {1,2}
```

2.3. Complejidad típica

- Acceso secuencial: $O(n)$
- Inserción/eliminación con iterador: $O(1)$
- Borrado por valor (`remove`): $O(n)$
- Ordenar (`sort`): $O(n \log n)$

3. Adaptador stack

3.1. Introducción

`stack` es un adaptador de contenedor que implementa una **pila (LIFO - Last In, First Out)**. Utiliza otro contenedor subyacente (por defecto `deque`, pero puede ser `vector` o `list`) y restringe el acceso únicamente al elemento superior. Es ideal cuando se necesita procesar elementos en orden inverso al de inserción.

3.2. Operaciones importantes

3.2.1. Declaración e inicialización

```
#include <stack>

stack<int> s1; // pila vacia (usa deque)
stack<int, vector<int>> s2; // pila con vector subyacente
stack<int, list<int>> s3; // pila con list subyacente
```

3.2.2. Agregar elemento: push()

Añade un elemento al tope de la pila. Complejidad $O(1)$.

```
stack<int> s;
s.push(10);
s.push(20);
s.push(30); // tope: 30
```

3.2.3. Acceder al elemento superior: top()

Devuelve una referencia al elemento en el tope (no lo elimina).

```
if (!s.empty()) {
    cout << "Tope: " << s.top() << "\n"; // 30
    s.top() = 99; // se puede modificar el tope
}
```

3.2.4. Eliminar elemento superior: pop()

Elimina el elemento del tope. No devuelve su valor.

```
if (!s.empty()) {
    int valor = s.top(); // primero obtener el valor
    s.pop(); // luego eliminar
}
```

3.2.5. Tamaño y estado

```
cout << "size: " << s.size() << "\n";
if (s.empty()) {
    cout << "pila vacia\n";
}
```

3.2.6. Patrón típico: procesar todos los elementos

```
while (!s.empty()) {
    int valor = s.top();
    s.pop();
    cout << valor << " "; // procesar en orden LIFO
}
```

3.2.7. Intercambiar contenidos

```
stack<int> x, y;
x.push(1); x.push(2);
y.push(9);
x.swap(y); // x tiene {9}, y tiene {1,2}
```

3.3. Complejidad típica

- push: $O(1)$
- pop: $O(1)$
- top: $O(1)$
- No permite iteración directa ni acceso aleatorio

4. Adaptador queue

4.1. Introducción

queue es un adaptador de contenedor que implementa una cola (**FIFO - First In, First Out**). Utiliza otro contenedor subyacente (por defecto deque, pero puede ser list) y restringe el acceso a los extremos: inserción por el final y extracción por el frente. Es ideal cuando se necesita procesar elementos en el mismo orden en que fueron añadidos.

4.2. Operaciones importantes

4.2.1. Declaración e inicialización

```
#include <queue>

queue<int> q1; // cola vacia (usa deque)
queue<int, list<int>> q2; // cola con list subyacente
```

4.2.2. Agregar elemento: push()

Añade un elemento al final de la cola. Complejidad $O(1)$.

```
queue<int> q;
q.push(10);
q.push(20);
q.push(30); // q: frente[10, 20, 30]final
```

4.2.3. Acceder al primer elemento: front()

Devuelve una referencia al elemento en el frente (no lo elimina).

```
if (!q.empty()) {
    cout << "Frente: " << q.front() << "\n"; // 10
    q.front() = 99; // se puede modificar
}
```

4.2.4. Acceder al último elemento: back()

Devuelve una referencia al elemento al final de la cola.

```
if (!q.empty()) {
    cout << "Final: " << q.back() << "\n"; // 30
    q.back() = 88; // se puede modificar
}
```

4.2.5. Eliminar primer elemento: pop()

Elimina el elemento del frente. No devuelve su valor.

```
if (!q.empty()) {
    int valor = q.front(); // primero obtener
                          // el valor
    q.pop();               // luego eliminar
}
```

4.2.6. Tamaño y estado

```
cout << "size: " << q.size() << "\n";
if (q.empty()) {
    cout << "cola vacia\n";
}
```

4.2.7. Patrón típico: procesar todos los elementos

```
while (!q.empty()) {
    int valor = q.front();
    q.pop();
    cout << valor << " "; // procesar en orden
                          // FIFO
}
```

4.2.8. Intercambiar contenidos

```
queue<int> x, y;
x.push(1); x.push(2);
y.push(9);
x.swap(y); // x tiene {9}, y tiene {1,2}
```

4.3. Complejidad típica

- push: $O(1)$
- pop: $O(1)$
- front, back: $O(1)$
- No permite iteración directa ni acceso aleatorio

5. Adaptador priority_queue

5.1. Introducción

priority_queue es un adaptador de contenedor que implementa una **cola de prioridad**. Los elementos se organizan en un heap (por defecto max-heap), donde el elemento de mayor prioridad siempre está en el tope. Utiliza vector como contenedor subyacente por defecto. Es ideal cuando se necesita acceso rápido al elemento de mayor (o menor) prioridad.

5.2. Operaciones importantes

5.2.1. Declaración e inicialización

```
#include <queue>
#include <vector>
#include <functional>

// max-heap (mayor prioridad = mayor valor)
```

```
priority_queue<int> pq1;

// min-heap (mayor prioridad = menor valor)
priority_queue<int, vector<int>, greater<int>>
    pq2;

// con comparador personalizado
priority_queue<int, vector<int>, less<int>> pq3;

// inicializar desde un rango
vector<int> v = {3, 1, 4, 1, 5};
priority_queue<int> pq4(v.begin(), v.end());
```

5.2.2. Agregar elemento: push()

Añade un elemento y mantiene la propiedad del heap. Complejidad $O(\log n)$.

```
priority_queue<int> pq;
pq.push(10);
pq.push(30);
pq.push(20); // tope: 30 (el mayor)
```

5.2.3. Acceder al elemento de mayor prioridad: top()

Devuelve una referencia constante al elemento en el tope (no lo elimina).

```
if (!pq.empty()) {
    cout << "Mayor: " << pq.top() << "\n"; //
    30
    // NO se puede modificar: pq.top() = 99; //
    ERROR
}
```

5.2.4. Eliminar elemento de mayor prioridad: pop()

Elimina el elemento del tope. No devuelve su valor. Complejidad $O(\log n)$.

```
if (!pq.empty()) {
    int valor = pq.top(); // primero obtener el
                          // valor
    pq.pop();             // luego eliminar
}
```

5.2.5. Tamaño y estado

```
cout << "size: " << pq.size() << "\n";
if (pq.empty()) {
    cout << "cola vacia\n";
}
```

5.2.6. Patrón típico: procesar por prioridad

```
while (!pq.empty()) {
    int valor = pq.top();
    pq.pop();
    cout << valor << " "; // procesar en orden
                          // de prioridad
}
```


5.2.7. Min-heap: menor elemento primero

```
priority_queue<int, vector<int>, greater<int>>>
    minHeap;
minHeap.push(30);
minHeap.push(10);
minHeap.push(20);
cout << minHeap.top(); // 10 (el menor)
```

5.2.8. Intercambiar contenidos

```
priority_queue<int> x, y;
x.push(1); x.push(2);
y.push(9);
x.swap(y); // x tiene {9}, y tiene {2,1}
```

5.3. Complejidad típica

- push: $O(\log n)$
- pop: $O(\log n)$
- top: $O(1)$
- Construcción desde rango: $O(n)$
- No permite iteración directa ni acceso aleatorio

6. Contenedor deque

6.1. Introducción

deque (double-ended queue) es un contenedor secuencial que permite inserción y eliminación eficiente en **ambos extremos**. A diferencia de **vector**, no garantiza almacenamiento contiguo, sino que usa múltiples bloques de memoria. Ofrece acceso aleatorio por índice similar a **vector**, pero con mejor rendimiento en inserciones/eliminaciones al inicio. Es el contenedor por defecto usado por **stack** y **queue**.

6.2. Operaciones importantes

6.2.1. Declaración e inicialización

```
#include <deque>
#include <string>

deque<int> d1; // vacio
deque<int> d2(5); // 5 elementos
                inicializados a 0
deque<int> d3(5, 42); // 5 elementos
                con valor 42
deque<int> d4 = {1, 2, 3, 4}; // 
                inicializacion con lista
deque<string> names = {"Ana", "Luis"};
```

6.2.2. Agregar elementos al final: push_back()

Añade un elemento al final. Complejidad $O(1)$.

```
deque<int> d;
d.push_back(10);
d.push_back(20); // d = {10, 20}
```

6.2.3. Agregar elementos al inicio: push_front()

Añade un elemento al inicio. Complejidad $O(1)$.

```
d.push_front(5); // d = {5, 10, 20}
d.push_front(1); // d = {1, 5, 10, 20}
```

6.2.4. Eliminar último elemento: pop_back()

Elimina el último elemento (no devuelve su valor).

```
if (!d.empty()) {
    d.pop_back(); // elimina 20
}
```

6.2.5. Eliminar primer elemento: pop_front()

Elimina el primer elemento (no devuelve su valor).

```
if (!d.empty()) {
    d.pop_front(); // elimina 1
}
```

6.2.6. Acceso a elementos: operator[] y at()

operator[] no comprueba límites; **at()** lanza **out_of_range** si el índice no es válido.

```
d[0] = 99; // rapido, sin comprobacion
try {
    d.at(1) = 77; // seguro
} catch (const out_of_range& e) {
    // manejo de error
}
int x = d[0]; // lectura
```

6.2.7. Primer y último elemento

```
if (!d.empty()) {
    cout << "first: " << d.front()
         << ", last: " << d.back();
    d.front() = 100; // modificar
    d.back() = 200;
}
```

6.2.8. Tamaño y estado

```
cout << "size: " << d.size() << "\n";
if (d.empty()) cout << "vacio\n";
```

6.2.9. Cambiar tamaño

resize(n) cambia el tamaño lógico del deque.

```
d.resize(8); // cambia tamaño a 8 (añade
              ceros)
d.resize(3); // reduce tamaño a 3
```

6.2.10. Insertar y borrar en posiciones arbitrarias

Inserta o elimina en el medio (coste $O(n)$, pero más eficiente que **vector** cerca de los extremos).

```
deque<int> a = {1, 2, 4, 5};
auto it = a.begin() + 2; // apunta al 4
a.insert(it, 3);          // a = {1, 2, 3, 4, 5}
a.erase(a.begin() + 1);   // a = {1, 3, 4, 5}
```

6.2.11. Recorrer el deque

```
// range-based for
for (int x : a) cout << x << ' ';

// iteradores
for (auto it = a.begin(); it != a.end(); ++it)
    *it += 1;

// por indice
for (size_t i = 0; i < a.size(); ++i)
    cout << a[i] << ' ';
```

6.2.12. Eliminar todos los elementos

```
a.clear(); // tamaño 0
```

6.2.13. Intercambiar contenidos

```
deque<int> x = {1, 2, 3}, y = {9, 8};
x.swap(y); // x = {9, 8}, y = {1, 2, 3}
```

6.3. Complejidad típica

- Acceso por índice: $O(1)$
- push_front, push_back: $O(1)$
- pop_front, pop_back: $O(1)$
- insert/erase en medio: $O(n)$
- clear: $O(n)$

6.4. Diferencias con vector

- Inserción/eliminación $O(1)$ al inicio (vs $O(n)$ en vector)
- No garantiza memoria contigua
- Ligeramente más lento en acceso aleatorio
- No tiene capacity() ni reserve()

7. Contenedor set

7.1. Introducción

set es un contenedor asociativo que almacena elementos **únicos** en **orden ordenado**. Internamente usa un árbol binario balanceado (típicamente red-black tree), lo que garantiza ordenamiento automático y búsquedas eficientes. No permite elementos duplicados. Si se intenta insertar un elemento que ya existe, la operación no tiene efecto. Es ideal cuando se necesita mantener elementos únicos ordenados con búsquedas rápidas.

7.2. Operaciones importantes

7.2.1. Declaración e inicialización

```
#include <set>
#include <string>

set<int> s1; // vacío
set<int> s2 = {3, 1, 4, 1, 5}; // {1, 3, 4, 5} ordenado, sin duplicados
set<string> nombres = {"Ana", "Luis", "Ana"}; // {"Ana", "Luis"}

// Con comparador personalizado (orden descendente)
set<int, greater<int>> s3 = {1, 3, 2}; // {3, 2, 1}
```

7.2.2. Insertar elementos: insert()

Inserta un elemento si no existe. Retorna un par: iterador y bool indicando si se insertó. Complejidad $O(\log n)$.

```
set<int> s;
auto result = s.insert(10);
if (result.second) {
    cout << "insertado\n";
}
s.insert(20);
s.insert(10); // no tiene efecto, 10 ya existe

// Insertar multiples
s.insert({30, 40, 50});
```

7.2.3. Buscar elementos: find()

Busca un elemento y retorna un iterador. Si no existe, retorna end(). Complejidad $O(\log n)$.

```
auto it = s.find(20);
if (it != s.end()) {
    cout << "encontrado: " << *it << "\n";
} else {
    cout << "no encontrado\n";
}
```

7.2.4. Contar elementos: count()

Retorna 1 si el elemento existe, 0 si no. Complejidad $O(\log n)$.

```
if (s.count(20)) {
    cout << "20 existe\n";
}
```

7.2.5. Verificar existencia: contains() (C++20)

Verifica si un elemento existe (más legible que count()).

```
if (s.contains(20)) {
    cout << "20 existe\n";
}
```

7.2.6. Eliminar elementos: erase()

Elimina un elemento por valor o por iterador. Complejidad $O(\log n)$.

```
s.erase(20); // elimina 20
s.erase(s.begin()); // elimina primer elemento

auto it = s.find(30);
if (it != s.end()) {
    s.erase(it); // elimina usando iterador
}
```

7.2.7. Tamaño y estado

```
cout << "size: " << s.size() << "\n";
if (s.empty()) {
    cout << "set vacio\n";
}
```

7.2.8. Recorrer el set (siempre ordenado)

```
// range-based for (en orden)
for (int x : s) {
    cout << x << ' ';
}

// iteradores
for (auto it = s.begin(); it != s.end(); ++it) {
    cout << *it << ' ';
}

// iteradores reversos
for (auto it = s.rbegin(); it != s.rend(); ++it) {
    cout << *it << ' ';
}
```

7.2.9. Primer y último elemento

```
if (!s.empty()) {
    cout << "min: " << *s.begin() << "\n";
    cout << "max: " << *s.rbegin() << "\n";
}
```

7.2.10. Límites: lower_bound() y upper_bound()

lower_bound(x) retorna iterador al primer elemento $\geq x$. upper_bound(x) retorna iterador al primer elemento $> x$.

```
set<int> s = {1, 3, 5, 7, 9};
auto it1 = s.lower_bound(5); // apunta a 5
auto it2 = s.upper_bound(5); // apunta a 7
auto it3 = s.lower_bound(4); // apunta a 5 (>= 4)
```

7.2.11. Eliminar todos los elementos

```
s.clear(); // elimina todos
```

7.2.12. Intercambiar contenidos

```
set<int> x = {1, 2, 3}, y = {9, 8};
x.swap(y); // x = {8, 9}, y = {1, 2, 3}
```

7.3. Complejidad típica

- insert, erase, find, count: $O(\log n)$
- lower_bound, upper_bound: $O(\log n)$
- Iteración completa: $O(n)$
- No permite acceso por índice

8. Contenedor multiset

8.1. Introducción

multiset es similar a set, pero **permite elementos duplicados**. Mantiene los elementos ordenados automáticamente usando un árbol binario balanceado. Los elementos duplicados se almacenan juntos en orden. Es ideal cuando se necesita mantener elementos ordenados con posibles repeticiones.

8.2. Operaciones importantes

8.2.1. Declaración e inicialización

```
#include <set>

multiset<int> ms1; // vacio
multiset<int> ms2 = {3, 1, 4, 1, 5}; // {1, 1, 3, 4, 5} permite duplicados
multiset<int, greater<int>> ms3; // orden descendente
```

8.2.2. Insertar elementos: insert()

Siempre inserta el elemento (permite duplicados). Retorna iterador al elemento insertado. Complejidad $O(\log n)$.

```
multiset<int> ms;
ms.insert(10);
ms.insert(20);
ms.insert(10); // se inserta, ahora hay dos 10
ms.insert(10); // {10, 10, 10, 20}

// Insertar multiples
ms.insert({30, 20, 30}); // {10, 10, 10, 20, 20, 30, 30}
```

8.2.3. Buscar elementos: find()

Busca un elemento y retorna iterador a una de las ocurrencias. Complejidad $O(\log n)$.

```
auto it = ms.find(10);
if (it != ms.end()) {
    cout << "encontrado: " << *it << "\n";
}
```

8.2.4. Contar elementos: count()

Retorna el número de ocurrencias del elemento. Complejidad $O(\log n + k)$, donde k es el número de ocurrencias.

```
cout << "10 aparece " << ms.count(10) << "
    veces\n"; // 3
cout << "50 aparece " << ms.count(50) << "
    veces\n"; // 0
```

8.2.5. Eliminar elementos: erase()

`erase(valor)` elimina **todas** las ocurrencias. `erase(iterador)` elimina solo una ocurrencia.

```
multiset<int> ms = {1, 2, 2, 2, 3};

// Eliminar todas las ocurrencias de 2
ms.erase(2); // {1, 3}

multiset<int> ms2 = {1, 2, 2, 2, 3};
// Eliminar solo una ocurrencia de 2
auto it = ms2.find(2);
if (it != ms2.end()) {
    ms2.erase(it); // {1, 2, 2, 3}
}
```

8.2.6. Tamaño y estado

```
cout << "size: " << ms.size() << "\n";
if (ms.empty()) {
    cout << "multiset vacio\n";
}
```

8.2.7. Recorrer el multiset (incluye duplicados)

```
multiset<int> ms = {3, 1, 4, 1, 5, 9, 2, 6, 5};
// Salida: 1 1 2 3 4 5 5 6 9
for (int x : ms) {
    cout << x << ' ';
}
```

8.2.8. Primer y último elemento

```
if (!ms.empty()) {
    cout << "min: " << *ms.begin() << "\n";
    cout << "max: " << *ms.rbegin() << "\n";
}
```

8.2.9. Rango de elementos iguales: equal_range()

Retorna un par de iteradores delimitando todas las ocurrencias de un valor.

```
multiset<int> ms = {1, 2, 2, 2, 3};
auto range = ms.equal_range(2);
cout << "Ocurrencias de 2: ";
for (auto it = range.first; it != range.second;
    ++it) {
    cout << *it << ' '; // 2 2 2
}
```

8.2.10. Límites: lower_bound() y upper_bound()

```
multiset<int> ms = {1, 3, 3, 3, 5, 7};
auto it1 = ms.lower_bound(3); // apunta al
    primer 3
auto it2 = ms.upper_bound(3); // apunta a 5 (
    despues de los 3)
```

8.2.11. Eliminar todos los elementos

```
ms.clear();
```

8.2.12. Intercambiar contenidos

```
multiset<int> x = {1, 1, 2}, y = {9, 9};
x.swap(y); // x = {9, 9}, y = {1, 1, 2}
```

8.3. Complejidad típica

- `insert`, `find`: $O(\log n)$
- `erase(valor)`: $O(\log n + k)$, donde k es el número de elementos eliminados
- `erase(iterador)`: $O(1)$ amortizado
- `count`: $O(\log n + k)$, donde k es el número de ocurrencias
- No permite acceso por índice

8.4. Diferencias con set

- Permite elementos duplicados
- `insert()` siempre inserta (no retorna pair con bool)
- `count()` puede retornar valores > 1
- `erase(valor)` elimina todas las ocurrencias
- `equal_range()` es útil para procesar duplicados

9. Contenedor string

9.1. Introducción

`string` es un contenedor especializado para manejar cadenas de caracteres en C++. Internamente es similar a `vector<char>` pero con operaciones específicas para texto. Permite manipulación eficiente de cadenas, crecimiento dinámico y ofrece numerosas funciones para búsqueda, comparación y transformación. Es la forma recomendada de trabajar con texto en C++ moderno, reemplazando los arreglos de caracteres estilo C.

9.2. Operaciones importantes

9.2.1. Declaración e inicialización

```
#include <string>
#include <iostream>
using namespace std;

string s1; // cadena vacia
string s2 = "Hola"; // desde literal
string s3("Mundo"); // constructor
string s4(5, 'a'); // "aaaaa" (5 caracteres 'a')
string s5 = s2; // copia
string s6(s2, 1, 2); // subcadena: "ol" (desde pos 1, 2 chars)
```

9.2.2. Concatenación: operator+ y append()

```
string a = "Hola";
string b = " Mundo";
string c = a + b; // "Hola Mundo"
c = c + "!"; // "Hola Mundo!"
c += " 2024"; // "Hola Mundo! 2024"

a.append(b); // a = "Hola Mundo"
a.append(3, '.'); // a = "Hola Mundo..."
```

9.2.3. Acceso a caracteres: operator[] y at()

```
string s = "Hola";
char c1 = s[0]; // 'H' (sin verificacion)
char c2 = s.at(1); // 'o' (con verificacion)
s[0] = 'h'; // s = "hola"

try {
    char c = s.at(10); // lanza out_of_range
} catch (const out_of_range& e) {
    cout << "indice invalido\n";
}
```

9.2.4. Primer y último carácter: front() y back()

```
string s = "Texto";
char primero = s.front(); // 'T'
char ultimo = s.back(); // 'o'
s.front() = 't'; // s = "texto"
s.back() = 's'; // s = "textos"
```

9.2.5. Tamaño: size(), length() y empty()

```
string s = "Hola";
cout << s.size() << "\n"; // 4
cout << s.length() << "\n"; // 4 (equivalente a size)
if (s.empty()) {
    cout << "cadena vacia\n";
}
```

9.2.6. Modificar tamaño: resize() y clear()

```
string s = "Hola";
s.resize(7, 'x'); // s = "Holaxx"
s.resize(3); // s = "Hol"
s.clear(); // s = "" (vacía)
```

9.2.7. Insertar texto: insert()

```
string s = "Hola Mundo";
s.insert(5, "Bello "); // "Hola Bello Mundo"
s.insert(0, ">> "); // ">> Hola Bello Mundo"
s.insert(s.length(), " <<"); // agregar al final
```

9.2.8. Eliminar texto: erase()

```
string s = "Hola Mundo";
s.erase(5, 6); // elimina 6 chars desde pos 5: "Hola"
s.erase(2); // elimina desde pos 2 al final: "Ho"

string s2 = "ABCDEF";
s2.erase(s2.begin() + 2); // elimina 'C': "ABDEF"
```

9.2.9. Reemplazar texto: replace()

```
string s = "Hola Mundo";
s.replace(5, 5, "Amigo"); // "Hola Amigo" (desde pos 5, 5 chars)
s.replace(0, 4, "Adios"); // "Adios Amigo"
```

9.2.10. Buscar texto: find()

```
string s = "Hola Mundo Hola";
size_t pos = s.find("Mundo"); // pos = 5
if (pos != string::npos) {
    cout << "encontrado en pos " << pos << "\n";
}

pos = s.find("Hola", 1); // busca desde pos 1: encuentra 11
pos = s.find('M'); // busca caracter: pos = 5
pos = s.find("XYZ"); // no existe: string::npos
```

9.2.11. Buscar desde el final: rfind()

```
string s = "Hola Mundo Hola";
size_t pos = s.rfind("Hola"); // ultima ocurrencia: pos = 11
pos = s.rfind('o'); // ultima 'o': pos = 13
```

9.2.12. Buscar primer/último de un conjunto: find_first_of() y find_last_of()

```
string s = "Hola Mundo 123";
// Busca primer vocal
size_t pos = s.find_first_of("aeiou"); // pos
= 1 ('o')
// Busca primer dígito
pos = s.find_first_of("0123456789"); // pos
= 11 ('1')
// Busca último dígito
pos = s.find_last_of("0123456789"); // pos
= 13 ('3')
```

9.2.13. Buscar primer carácter que NO esté en conjunto: find_first_not_of()

```
string s = "    Hola";
size_t pos = s.find_first_not_of(" "); // pos =
3 (primer no-espacio)
```

9.2.14. Subcadenas: substr()

```
string s = "Hola Mundo";
string sub1 = s.substr(5); // "Mundo"
// (desde pos 5 hasta el final)
string sub2 = s.substr(0, 4); // "Hola" (
// desde pos 0, 4 chars)
string sub3 = s.substr(5, 3); // "Mun"
```

9.2.15. Comparación: compare() y operadores

```
string s1 = "abc";
string s2 = "abd";

// Usando operadores
if (s1 == s2) cout << "iguales\n";
if (s1 < s2) cout << "s1 es menor\n"; //
// true (orden lexicografico)
if (s1 != s2) cout << "diferentes\n";

// Usando compare()
int result = s1.compare(s2);
// result < 0 si s1 < s2
// result > 0 si s1 > s2
// result == 0 si s1 == s2
```

9.2.16. Conversión a C-string: c_str() y data()

```
string s = "Hola";
const char* cstr = s.c_str(); // puntero
// a arreglo terminado en '\0'
printf("%s\n", s.c_str()); // para
// funciones estilo C
```

9.2.17. Conversión de números a string

```
#include <string>

int num = 42;
double pi = 3.14159;

string s1 = to_string(num); // "42"
string s2 = to_string(pi); //
// "3.141590"
string s3 = to_string(true); // "1"
```

9.2.18. Conversión de string a números

```
string s1 = "42";
string s2 = "3.14";
string s3 = "123abc";

int num = stoi(s1); // 42
double d = stod(s2); // 3.14
long l = stol(s1); // 42L

// stoi ignora caracteres no numericos al final
int n = stoi(s3); // 123

// Manejo de errores
try {
    int x = stoi("abc"); // lanza
    // invalid_argument
} catch (const invalid_argument& e) {
    cout << "conversion invalida\n";
}
```

9.2.19. Recorrer string

```
string s = "Hola";

// range-based for
for (char c : s) {
    cout << c << ' '; // H o l a
}

// por indice
for (size_t i = 0; i < s.size(); ++i) {
    cout << s[i] << ' ';
}

// iteradores
for (auto it = s.begin(); it != s.end(); ++it)
{
    *it = toupper(*it); //
    // convertir a mayusculas
}
```

9.2.20. Transformaciones comunes

```
#include <algorithm>
#include <cctype>

string s = "Hola Mundo";

// A mayusculas
transform(s.begin(), s.end(), s.begin(), ::
toupper);
// s = "HOLA MUNDO"

// A minusculas
transform(s.begin(), s.end(), s.begin(), ::
tolower);
// s = "hola mundo"

// Invertir
reverse(s.begin(), s.end());
// s = "odnum aloh"
```

9.2.21. Eliminar espacios al inicio/final

```
string s = "    Hola Mundo    ";

// Eliminar espacios al inicio
s.erase(s.begin(), find_if(s.begin(), s.end(),
[](unsigned char c) {
    return !isspace(c);
}));
```

```

    });

    // Eliminar espacios al final
    s.erase(find_if(s.rbegin(), s.rend(), [](
        unsigned char c) {
            return !isspace(c);
        })).base(), s.end());
    // s = "Hola Mundo"

```

9.2.22. Dividir string (split)

```

#include <sstream>
#include <vector>

string s = "uno,dos,tres,cuatro";
vector<string> tokens;
stringstream ss(s);
string token;

while (getline(ss, token, ',')) {
    tokens.push_back(token);
}
// tokens = {"uno", "dos", "tres", "cuatro"}

```

9.2.23. Intercambiar contenidos

```

string s1 = "Hola";
string s2 = "Mundo";
s1.swap(s2); // s1 = "
               Mundo", s2 = "Hola"

```

9.3. Complejidad típica

- Acceso por índice: $O(1)$
- find, rfind: $O(n*m)$ donde n es el tamaño del string y m del patrón
- insert, erase, replace: $O(n)$
- append, +=: amortizada $O(1)$
- substr: $O(m)$ donde m es el tamaño de la subcadena
- Conversiones stoi, stod: $O(n)$

10. Contenedor map

10.1. Introducción

map es un contenedor asociativo que almacena pares **clave-valor** únicos, ordenados por clave. Internamente usa un árbol binario balanceado (típicamente red-black tree). Cada clave es única y está asociada a un valor. Las claves están ordenadas automáticamente. Es ideal para búsquedas rápidas, asociaciones clave-valor y cuando se necesita mantener las claves ordenadas.

10.2. Operaciones importantes

10.2.1. Declaración e inicialización

```

#include <map>
#include <string>

map<string, int> m1; // vacío
map<string, int> edades = {
    {"Ana", 25},
    {"Luis", 30},
    {"Pedro", 28}
}; // ordenado por clave alfabéticamente

// Con comparador personalizado (orden descendente)
map<int, string, greater<int>> m2;

```

10.2.2. Insertar elementos: insert() y operator[]

operator[] crea la entrada si no existe e inicializa el valor. insert() solo inserta si la clave no existe. Complejidad $O(\log n)$.

```

map<string, int> m;

// Usando operator[] (crea si no existe)
m["Ana"] = 25;
m["Luis"] = 30;
m["Ana"] = 26; // actualiza valor existente

// Usando insert (no sobrescribe)
m.insert({"Pedro", 28});
auto result = m.insert({"Ana", 99}); // no inserta, Ana existe
if (!result.second) {
    cout << "Ana ya existe\n";
}

// Insert con make_pair
m.insert(make_pair("Maria", 27));

```

10.2.3. Acceder a valores: operator[] y at()

operator[] crea la entrada si no existe. at() lanza excepción si la clave no existe.

```

cout << m["Ana"] << "\n"; // 26
cout << m["Carlos"] << "\n"; // crea Carlos con valor 0

try {
    cout << m.at("Luis") << "\n"; // 30
    cout << m.at("Inexistente"); // lanza out_of_range
} catch (const out_of_range& e) {
    cout << "clave no encontrada\n";
}

```

10.2.4. Buscar elementos: find()

Busca una clave y retorna iterador. Si no existe, retorna end(). Complejidad $O(\log n)$.

```

auto it = m.find("Ana");
if (it != m.end()) {
    cout << it->first << ": " << it->second << "\n";
} else {
    cout << "no encontrado\n";
}

```

10.2.5. Verificar existencia: count() y contains()

count() retorna 1 si existe, 0 si no. contains() (C++20) es más legible.

```
if (m.count("Ana")) {
    cout << "Ana existe\n";
}

if (m.contains("Luis")) {
    cout << "Luis existe\n";
}
```

10.2.6. Eliminar elementos: erase()

Elimina por clave o por iterador. Complejidad $O(\log n)$.

```
m.erase("Pedro"); // elimina por clave
m.erase(m.begin()); // elimina primer elemento

auto it = m.find("Ana");
if (it != m.end()) {
    m.erase(it); // elimina usando iterador
}
```

10.2.7. Tamaño y estado

```
cout << "size: " << m.size() << "\n";
if (m.empty()) {
    cout << "map vacio\n";
}
```

10.2.8. Recorrer el map (ordenado por clave)

```
// range-based for con structured binding (C++17)
for (const auto& [clave, valor] : m) {
    cout << clave << ": " << valor << "\n";
}

// range-based for tradicional
for (const auto& par : m) {
    cout << par.first << ": " << par.second << "\n";
}

// iteradores
for (auto it = m.begin(); it != m.end(); ++it) {
    cout << it->first << ": " << it->second << "\n";
}
```

10.2.9. Primera y última entrada

```
if (!m.empty()) {
    auto primero = m.begin();
    auto ultimo = m.rbegin();
    cout << "min clave: " << primero->first << "\n";
    cout << "max clave: " << ultimo->first << "\n";
}
```

10.2.10. Límites: lower_bound() y upper_bound()

```
map<int, string> m = {{1,"a"}, {3,"c"}, {5,"e"}};
auto it1 = m.lower_bound(3); // apunta a {3,"c"}
auto it2 = m.upper_bound(3); // apunta a {5,"e"}
auto it3 = m.lower_bound(2); // apunta a {3,"c"}
```

10.2.11. Modificar valores existentes

```
if (m.count("Ana")) {
    m["Ana"] += 1; // incrementar
}

auto it = m.find("Luis");
if (it != m.end()) {
    it->second = 35; // modificar via iterador
}
```

10.2.12. Eliminar todos los elementos

```
m.clear();
```

10.2.13. Intercambiar contenidos

```
map<string, int> x = {{ "a", 1}, {"b", 2}};
map<string, int> y = {{ "z", 9}};
x.swap(y);
```

10.3. Complejidad típica

- insert, erase, find, operator[], at: $O(\log n)$
- lower_bound, upper_bound: $O(\log n)$
- Iteración completa: $O(n)$
- No permite acceso por índice numérico

11. Algoritmos de la STL

11.1. Introducción

La STL proporciona una amplia colección de algoritmos genéricos en <algorithm> y <numeric>. Estos algoritmos trabajan con iteradores, permitiendo su uso con cualquier contenedor. La mayoría no modifican el tamaño del contenedor, solo sus elementos.

11.2. Algoritmos de ordenamiento

11.2.1. Ordenar: sort()

Ordena elementos en orden ascendente. Complejidad $O(n \log n)$.

```
#include <algorithm>
#include <vector>

vector<int> v = {4, 2, 5, 1, 3};
sort(v.begin(), v.end()); // {1, 2, 3, 4, 5}

// Orden descendente
```



```
sort(v.begin(), v.end(), greater<int>());

// Comparador personalizado
sort(v.begin(), v.end(), [](int a, int b) {
    return a > b; // descendente
});
```

11.2.2. Ordenar parcialmente: partial_sort()

Ordena los primeros n elementos. Complejidad $O(n \log k)$.

```
vector<int> v = {5, 2, 8, 1, 9, 3};
// Ordenar solo los 3 primeros
partial_sort(v.begin(), v.begin() + 3, v.end())
;
// v = {1, 2, 3, ...} (resto sin orden
    garantizado)
```

11.2.3. Verificar si está ordenado: is_sorted()

Verifica si un rango está ordenado. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5};
if (is_sorted(v.begin(), v.end())) {
    cout << "ordenado\n";
}
```

11.3. Algoritmos de búsqueda

11.3.1. Búsqueda binaria: binary_search()

Verifica si un elemento existe en un rango **ordenado**. Complejidad $O(\log n)$.

```
vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5};
if (binary_search(v.begin(), v.end(), 3)) {
    cout << "encontrado\n";
}
```

11.3.2. Límites: lower_bound() y upper_bound()

Búsqueda en rango ordenado. Complejidad $O(\log n)$.

```
vector<int> v = {1, 2, 4, 4, 4, 5, 7};
auto it1 = lower_bound(v.begin(), v.end(), 4);
// primer 4
auto it2 = upper_bound(v.begin(), v.end(), 4);
// despues del ultimo 4
int count = it2 - it1; // cantidad de 4s
```

11.3.3. Buscar elemento: find()

Busca la primera ocurrencia de un valor. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5};
auto it = find(v.begin(), v.end(), 3);
if (it != v.end()) {
    cout << "encontrado en posicion " << (it -
        v.begin()) << "\n";
}
```

11.3.4. Buscar con condición: find_if()

Busca el primer elemento que cumple una condición. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5};
auto it = find_if(v.begin(), v.end(), [](int x)
{
    return x > 3;
});
if (it != v.end()) {
    cout << "primer elemento > 3: " << *it << "
        \n"; // 4
}
```

11.4. Algoritmos de modificación

11.4.1. Invertir: reverse()

Invierte el orden de los elementos. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5};
reverse(v.begin(), v.end()); // {5, 4, 3, 2,
    1}
```

11.4.2. Copiar: copy()

Copia elementos de un rango a otro. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> src = {1, 2, 3};
vector<int> dst(3);
copy(src.begin(), src.end(), dst.begin());
```

11.4.3. Llenar: fill()

Asigna un valor a todos los elementos. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v(5);
fill(v.begin(), v.end(), 42); // {42, 42, 42,
    42, 42}
```

11.4.4. Transformar: transform()

Aplica una función a cada elemento. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5};
transform(v.begin(), v.end(), v.begin(), [](int
    x) {
    return x * 2;
}); // {2, 4, 6, 8, 10}
```

11.4.5. Reemplazar: replace()

Reemplaza todas las ocurrencias de un valor. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v = {1, 2, 3, 2, 5};
replace(v.begin(), v.end(), 2, 99); // {1, 99,
    3, 99, 5}
```

11.4.6. Eliminar duplicados: unique()

Elimina duplicados **consecutivos** (requiere ordenar primero). Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v = {1, 2, 2, 3, 3, 3, 4};
auto it = unique(v.begin(), v.end());
v.erase(it, v.end()); // {1, 2, 3, 4}

// Patron completo con sort
```

```
vector<int> v2 = {3, 1, 3, 2, 1};
sort(v2.begin(), v2.end());
v2.erase(unique(v2.begin(), v2.end()), v2.end());
```

11.4.7. Rotar: rotate()

Rota elementos en un rango. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5};
rotate(v.begin(), v.begin() + 2, v.end());
// {3, 4, 5, 1, 2}
```

11.5. Algoritmos de permutación

11.5.1. Siguiente permutación: next_permutation()

Genera la siguiente permutación lexicográfica. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v = {1, 2, 3};
do {
    for (int x : v) cout << x << " ";
    cout << "\n";
} while (next_permutation(v.begin(), v.end()));
// Genera: 123, 132, 213, 231, 312, 321
```

11.5.2. Permutación anterior: prev_permutation()

Genera la permutación lexicográfica anterior.

```
vector<int> v = {3, 2, 1};
prev_permutation(v.begin(), v.end()); // {3, 1, 2}
```

11.6. Algoritmos de conjunto

11.6.1. Unión: set_union()

Une dos rangos ordenados. Complejidad $O(n + m)$.

```
vector<int> a = {1, 2, 3, 4};
vector<int> b = {3, 4, 5, 6};
vector<int> result;
set_union(a.begin(), a.end(),
          b.begin(), b.end(),
          back_inserter(result));
// result = {1, 2, 3, 4, 5, 6}
```

11.6.2. Intersección: set_intersection()

Encuentra elementos comunes en dos rangos ordenados. Complejidad $O(n + m)$.

```
vector<int> a = {1, 2, 3, 4};
vector<int> b = {3, 4, 5, 6};
vector<int> result;
set_intersection(a.begin(), a.end(),
                 b.begin(), b.end(),
                 back_inserter(result));
// result = {3, 4}
```

11.6.3. Diferencia: set_difference()

Elementos en el primer rango pero no en el segundo. Complejidad $O(n + m)$.

```
vector<int> a = {1, 2, 3, 4};
vector<int> b = {3, 4, 5, 6};
vector<int> result;
set_difference(a.begin(), a.end(),
              b.begin(), b.end(),
              back_inserter(result));
// result = {1, 2}
```

11.7. Algoritmos numéricos

11.7.1. Sumar elementos: accumulate()

Suma todos los elementos (requiere `<numeric>`). Complejidad $O(n)$.

```
#include <numeric>

vector<int> v = {1, 2, 3, 4, 5};
int suma = accumulate(v.begin(), v.end(), 0);
// 15

// Con operacion personalizada
int producto = accumulate(v.begin(), v.end(), 1,
                          [](int a, int b) {
                              return a * b; });
```

11.7.2. Mínimo y máximo: min_element() y max_element()

Encuentra el elemento mínimo o máximo. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v = {3, 1, 4, 1, 5};
auto min_it = min_element(v.begin(), v.end());
auto max_it = max_element(v.begin(), v.end());
cout << "min: " << *min_it << ", max: " << *
max_it << "\n";
```

11.7.3. Contar elementos: count() y count_if()

Cuenta ocurrencias o elementos que cumplen condición. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v = {1, 2, 3, 2, 5, 2};
int n = count(v.begin(), v.end(), 2); // 3

int pares = count_if(v.begin(), v.end(), [](int x) {
    return x % 2 == 0;
}); // 3
```

11.8. Algoritmos de verificación

11.8.1. Verificar condición: all_of(), any_of(), none_of()

Verifican si todos, alguno o ninguno cumple una condición. Complejidad $O(n)$.

```
vector<int> v = {2, 4, 6, 8};

bool todos_pares = all_of(v.begin(), v.end(),
                          [](int x) {
                              return x % 2 == 0;
                          }); // true

bool hay_impar = any_of(v.begin(), v.end(), [](int x) {
    return x % 2 != 0;
});
```

```
}); // false

bool ninguno_negativo = none_of(v.begin(), v.
    end(), [](int x) {
    return x < 0;
}); // true
```

12. Funciones Útiles y Patrones Comunes

12.1. Generación de Permutaciones

12.1.1. Función para generar todas las permutaciones

Utiliza `next_permutation()` para generar todas las permutaciones de un vector. El vector debe estar inicialmente ordenado. Complejidad: $O(n! * n)$.

```
void perm(vector<char> &arr){
    do{
        for(auto c : arr){
            cout << c << " ";
        }
        cout << endl;
    } while(next_permutation(arr.begin(), arr.
        end()));
}
```

12.2. Generación de Subconjuntos (Bit-mask)

12.2.1. Función para generar todos los subconjuntos

Utiliza máscaras de bits para generar todos los subconjuntos posibles (conjunto potencia). Para un conjunto de tamaño n , genera 2^n subconjuntos. Complejidad: $O(2^n * n)$.

```
void mask(vector<char> &arr){
    int n = arr.size();
    int total_subset = 1 << n; // 2^n
    subconjuntos

    for(int i = 0; i < total_subset; i++){
        for(int j = 0; j < n; j++){
            if(i & (1 << j)){
                cout << arr[j];
                if(j < n - 1) cout << " ";
            }
        }
        cout << endl;
    }
}
```

13. Backtracking

13.1. Introduccion

El backtracking es una técnica de diseño de algoritmos para resolver problemas combinatorios. Consiste en construir soluciones parciales y retroceder cuando se determina que una solución parcial no puede llevar a una solución completa válida.

13.2. Fuerza Bruta (Brute Force)

La fuerza bruta busca en todo el espacio de soluciones posibles para encontrar las validas y elegir la mejor entre ellas. Es una tecnica simple pero costosa, asi que es mejor utilizarla cuando el espacio de soluciones sea pequeno.

Permutaciones

Forma de ordenar los elementos de un conjunto de forma específica.

[1, 2, 3], [1, 3, 2], [2, 1, 3], [2, 3, 1], [3, 1, 2], [3, 2, 1]

En C++ se puede usar la función **next_permutation** para generar todas las permutaciones de un conjunto.

```
/*Generar todas las permutaciones de conjunto*/
vector<int> conjunto = {1,2,3,4};
do {
    // Imprime la permutacion actual
    for (auto numero : conjunto)
        cout << c << " ";
    cout << endl;
} while(next_permutation(conjunto.begin(),
    conjunto.end()));
// Tiempo: O(n!)
// Espacio: O(1)
```

Subconjuntos

Serie de elementos que pertenecen a un conjunto original, pero no necesariamente conserva todos los elemento.

$\{\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}, \{3\}, \{1, 3\}, \{2, 3\}, \{1, 2, 3\}$

Una tecnica para generar subconjuntos es usar "masking". Cada bit representa si un elemento pertenece o no al subconjunto.

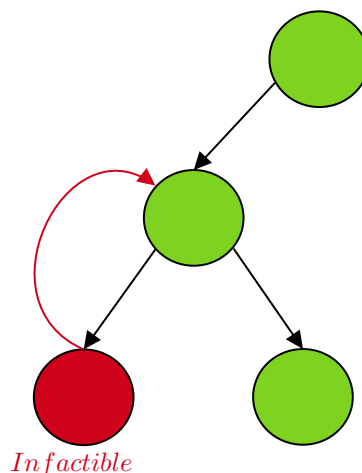
Máscara	000	001	011	011	111
Subconjunto	\emptyset	{1}	{1, 2}	{2, 3}	{1, 2, 3}

```
/* Suma de cada subconjunto */
int n = 3;
vector<int> arr = {1,2,3};
vector<int> sum(1<n);
for (int i = 0; i < (1<n); i++){
    int num = 0;
    for (int j = 0; j < n; j++){
        if (i&(1<j)){
            num += arr[j];
        }
    }
    sum[i] = num;
}
// Tiempo: O(2^n)
// Espacio : O(1)
```

La cantidad de suconjuntos de un conjunto de tamaño n es 2^n y la cantidad de permutaciones es $n!$.

13.3. BackTracking

Como se menciona antes el backtracking es una tecnica para resolver problemas combinatorios. Consiste en construir soluciones parciales y retroceder cuando se determina que una solucion parcial no es factible.



Ejemplos

Fuerza Bruta

1)Prefijo Primo: Se busca contar la cantidad de números de tres dígitos, de forma que cumplen que cada prefijo es también un número primo.

```
#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;

//Algorithm isItPrime implmented with brute force O(n)
bool isItPrime(int number){
    if(number <= 1)
        return false;

    for(int i = 2 ; i < number ; i++){
        if( number%i == 0)
            return false;
    }

    return true;
}

//Algorithm analyzeThree implmented with brute force O(n**3)
void analyzeThree(){
    int counter = 0;
    for (int i = 1 ; i < 10 ; i++){
        for (int j = 0 ; j < 10 ; j++){
            for (int k = 0 ; k < 10 ; k++){
                int second = (i * 10) + j;
                int third = (i * 100) + (j * 10) + k;
                if( isItPrime(i) && isItPrime(second) && isItPrime(third))
                    counter ++;
            }
        }
    }
    cout << counter;
}

int main(){
    analyzeThree();
    return 0;
}
```

2) Imprima todos los subconjuntos de un conjunto dado, por ejemplo:

Input

Output

```
3 \\tamano del conjunto
1 2 3 \\conjunto
```

```
{ }
{ 1 }
{ 2 }
{ 3 }
{ 1, 2 }
{ 1, 3 }
{ 2, 3 }
{ 1, 2, 3 }
```

```
#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;

void analyzeSet(vector<int> set, int n){
    int totalSubSets = 1 << n;
    for (int i=0; i < totalSubSets; i++){
        cout << "{";
        //logica es esta
        for (int j= 0; j < n; j++){
            if ( i & ( 1<<j )){
                cout << set[j];
                if (j < n-1) cout << ", ";
            }
        }
        cout << "}"<< endl;
    }
}

void getSet(){
    int n;
    cin >> n;
    vector<int> set(n);
    for (int i = 0 ; i < n ; i++){
        cin >> set[i];
    }

    analyzeSet(set, n);
}

int main(){
    getSet();
    return 0;
}
```