Notebook UNosnovatos

Contents

1 C++ 2
- 1.1 C++ plantilla . . . 2
- 1.2 Librerias . . . 2
- 1.3 Bitmask . . . 2

2 Estructuras de Datos 3
- 2.1 Disjoint Set Union . . . 3
- 2.2 Fenwick Tree . . . 3
- 2.3 Segment Tree . . . 4

3 Programacion dinamica 4
- 3.1 LIS . . . 4
- 3.2 Knapsack . . . 5
- 3.3 Cambio de monedas . . . 5
- 3.4 Algoritmo de Kadane 2D . . . 5
- 3.5 Knuth Clasico . . . 6
- 3.6 Edit Distances . . . 6

4 Grafos 6
- 4.1 DFS . . . 6
- 4.2 BFS . . . 6
- 4.3 Puentes . . . 7
- 4.4 Puntos de Articulacion . . . 7
- 4.5 Puntos de articulacion y puentes (dirigidos) . . . 7
- 4.6 Orden Topologico . . . 8
- 4.7 Algoritmo de Khan . . . 8
- 4.8 Floodfill . . . 9
- 4.9 Algoritmo Kosajaru . . . 9
- 4.10 Dijkstra . . . 9
- 4.11 Bellman Ford . . . 9
- 4.12 Floyd Warshall . . . 10
- 4.13 MST Kruskal . . . 10
- 4.14 MST Prim . . . 10
- 4.15 Shortest Path Faster Algorithm . . . 10
- 4.16 Camino mas corto de longitud fija . . . 11

5 Flujos 11
- 5.1 Edmonds-Karp . . . 11
- 5.2 Dinic . . . 12
- 5.3 Maximum Bipartite Matching . . . 12

6 Matematicas 13
- 6.1 Criba de Eratostenes . . . 13
- 6.2 Descomposicion en primos (y mas cosas) . . . 13
- 6.3 Prueba de primalidad . . . 14
- 6.4 Criba Modificada . . . 14
- 6.5 Funcion Totient de Euler . . . 14
- 6.6 Exponenciacion binaria . . . 14
- 6.7 Exponenciacion matricial . . . 14
- 6.8 Fibonacci Matriz . . . 15
- 6.9 GCD y LCM . . . 15
- 6.10 Algoritmo Euclideo Extendido . . . 15
- 6.11 Inverso modular . . . 15
- 6.12 Coeficientes binomiales . . . 15

7 Strings 16
- 7.1 Funcion Z . . . 16
- 7.2 Algoritmo Z . . . 16
- 7.3 Funcion Phi . . . 16
- 7.4 Kmp . . . 16
- 7.5 Aho-Corasick . . . 17
- 7.6 Hashing . . . 17
- 7.7 Manacher . . . 18
- 7.8 Minimal-Rotation . . . 18
- 7.9 Rabin-Karp . . . 19
- 7.10 Kmp-Automata . . . 19
- 7.11 Suffix Array Forma 1 . . . 19
- 7.12 Suffix Array Forma 2 . . . 20
- 7.13 Suffix Automata Forma 1 . . . 21
- 7.14 Suffix Automata Forma 2 . . . 21
- 7.15 Longest Common Subsequence . . . 22
- 7.16 Longest Common Substring . . . 22
- 7.17 Lyndon Factorization . . . 22
- 7.18 Cantidad Substring por len . . . 23
- 7.19 Cantidad Substrings . . . 23
- 7.20 Kth-Substring con repeticiones . . . 23
- 7.21 Kth-substring sin repeticiones . . . 23
- 7.22 Primera aparicion patrones . . . 24
- 7.23 Repetitions . . . 24
- 7.24 Substring mas largo repetido . . . 24

8 Geometria 25

8.1 Puntos . . . 25
8.2 Lineas . . . 25
8.3 Vectores . . . 25
8.4 Poligonos . . . 26
8.5 Convex Hull . . . 26

9 Teoría y miscelánea 27
9.1 Sumatorias . . . 27
9.2 Teoría de Grafos . . . 27
9.2.1 Teorema de Euler . . . 27
9.2.2 Planaridad de Grafos . . . 27
9.3 Teoría de Números . . . 27
9.3.1 Ecuaciones Diofánticas Lineales . . . 27
9.3.2 Pequeño Teorema de Fermat . . . 28
9.3.3 Teorema de Euler . . . 28
9.4 Teorema de Pick . . . 28
9.5 Combinatoria . . . 28
9.5.1 Permutaciones . . . 28
9.5.2 Combinaciones . . . 28
9.5.3 Permutaciones con Repetición . . . 28
9.5.4 Combinaciones con Repetición . . . 28
9.5.5 Números de Catalan . . . 28

1 C++

1.1 C++ plantilla

```cpp
#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
#define sz(arr) ((int) arr.size())
#define all(v) v.begin(), v.end()
typedef long long ll;
typedef pair<int, int> ii;
typedef vector<ii> vii;
typedef vector<int> vi;
typedef vector<long long> vl;
typedef pair<ll, ll> pll;
typedef vector<pll> vll;
const int INF = 1e9;
const ll INFL = 1e18;
const int MOD = 1e9+7;
const double EPS  = 1e-9;
int dirx[4] = {0,-1,1,0};
int diry[4] = {-1,0,0,1};
int dr[] = {1, 1, 0, -1, -1, -1, 0, 1};
int dc[] = {0, 1, 1, 1, 0, -1, -1, -1};
const string ABC = "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz";
const char ln = '\n';

int main() {
    ios::sync_with_stdio(false);
    cin.tie(0);
    cout << setprecision(20) << fixed;
    // freopen("file.in", "r", stdin);
    // freopen("file.out", "w", stdout);

    return 0;
}
```

1.2 Librerias

```cpp
// En caso de que no sirva #include <bits/stdc++.h>
#include <algorithm>
#include <iostream>
#include <iterator>
#include <sstream>
#include <fstream>
#include <cassert>
#include <climits>
#include <cstdlib>
#include <cstring>
#include <string>
#include <cstdio>
#include <vector>
#include <cmath>
#include <queue>
#include <deque>
#include <stack>
#include <list>
#include <map>
#include <set>
#include <bitset>
#include <iomanip>
#include <unordered_map>
////
#include <tuple>
#include <random>
#include <chrono>
```

1.3 Bitmask

```cpp
// Todas son O(1)Representacion
int a = 5; // Representacion binaria: 0101
int b = 3; // Representacion binaria: 0011
// Operaciones Principales
int resultado_and = a & b; // 0001 (1 en decimal)
int resultado_or = a | b; // 0111 (7 en decimal)
int resultado_xor = a ^ b; // 0110 (6 en decimal)
```

```cpp
int num = 42; // Representacion binaria: 00101010
bitset<8> bits(num); // Crear un objeto bitset a partir del numero
cout << "Secuencia de bits: " << bits << "\n";
bits.count(); // Cantidad de bits activados
bits.set(3, true); // Establecer el cuarto bit en 1
bits.reset(6);     // Establecer el septimo bit en 0

ll S,T;
// Operaciones con bits (/*) por 2 (redondea de forma automatica)
S=34; // == 100010
S = S<<1; // == S*2 == 68 == 1000100
S = S>>2; // == S/4 == 17 == 10001
S = S>>1; // == S/2 == 8  == 1000

// Encender un bit
S = 34;
S = S|(1<<3); // S = 42 (101010)

// Limpiar o apagar un bit
// ~: Not operacion
S = 42;
S &= ~(1<<1); // S = 40 (101000)

// Comprobar si un bit esta encendido
S = 42;
T = S&(1<<3); // (!= 0): el tercer bit esta encendido

// Invertir el estado de un bit
S = 40;
S ^=(1<<2); // 44 (101100)

// LSB (Primero de la derecha)
S = 40;
T = ((S) & -(S)); // 8 (001000)
__builtin_ctz(T); // nos entrega el indice del LSB

// Encender todos los bits
ll n = 3; // el tamanio del set de bits
S = 0;
S = (1<<n) - 1; // 7 (111)

// Enumerar todos los posibles subsets de un bitmask
int mask = 18;
for (int subset = mask; subset; subset = (mask & (subset-1))){
    cout << subset << "\n";
}

// otras funciones de c++
__builtin_popcount(32); // 100000 (base 2), only 1 bit is on
__builtin_popcount(30);// 11110 (base 2), 4 bits are on
__builtin_popcountl((1l<<62)-1l); // 2^62-1 has 62 bits on (near limit)
__builtin_ctz(32); // 100000 (base 2), 5 trailing zeroes
__builtin_ctz(30); // 11110 (base 2), 1 trailing zero
__builtin_ctzl(1l<<62); // 2^62 has 62 trailing zeroes
```

2 Estructuras de Datos

2.1 Disjoint Set Union

```cpp
struct dsu{
    vi p, size;
    int num_sets;
    int maxSize;

    dsu(int n){
        p.assign(n, 0);
        size.assign(n, 1);
        num_sets = n;
        for (int i = 0; i<n; i++) p[i] = i;
    }

    int find_set(int i) {return (p[i] == i) ? i : (p[i] = find_set(p[i]));}

    bool is_same_set(int i, int j) {return find_set(i) == find_set(j);}

    void unionSet(int i, int j){
            if (!is_same_set(i, j)){
                int a = find_set(i), b = find_set(j);
                if (size[a] < size[b])
                    swap(a, b);
                p[b] = a;
                size[a] += size[b];
                maxSize = max(size[a], maxSize);
                num_sets--;
            }
        }
};
```

2.2 Fenwick Tree

```cpp
#define LSOne(S) ((S) & -(S))

struct fenwick_tree{
    vl ft; int n;
    fenwick_tree(int n): n (n){ft.assign(n+1, 0);}
    ll rsq(int j){
        ll sum = 0;
        for(;j;j -= LSOne(j)) sum += ft[j];
        return sum;
    }
    ll rsq(int i, int j) {return rsq(j) - (i == 1 ? 0 : rsq(i-1));}
```

```
    void upd(int i, ll v){
        for (; i <= n; i += LSOne(i)) ft[i] += v;
    }
};
```

2.3 Segment Tree

```
int nullValue = 0;

struct nodeST{
    nodeST *left, *right;
    int l, r; ll value, lazy, lazy1;

    nodeST(vi &v, int l, int r) : l(l), r(r){
        int m = (l+r)>>1;
        lazy = 0;
        lazy1 = 0;
        if (l!=r){
            left = new nodeST(v, l, m);
            right = new nodeST(v, m+1, r);
            value = opt(left->value, right->value);
        }
        else{
            value = v[l];
        }
    }

    ll opt(ll leftValue, ll rightValue){
        return leftValue + rightValue;
    }

    void propagate(){
        if(lazy1){
            value = lazy1 * (r-l+1);
            if (l != r){
                left->lazy1 = lazy1, right->lazy1 = lazy1
                    ;
                left->lazy = 0, right->lazy = 0;
            }
            lazy1 = 0;
            lazy = 0;
        }
        else{
            value += lazy * (r-l+1);
            if (l != r){
                if(left->lazy1) left->lazy1 += lazy;
                else left->lazy += lazy;
                if(right->lazy1) right->lazy1 += lazy;
                else right->lazy += lazy;
            }
            lazy = 0;
        }
    }

    ll get(int i, int j){
        propagate();
        if (l>=i && r<=j) return value;
        if (l>j  || r<i) return nullValue;

        return opt(left->get(i, j), right->get(i, j));
    }

    void upd(int i, int j, int nv){
        propagate();
        if (l>j  || r<i) return;
        if (l>=i && r<=j){
            lazy += nv;
            propagate();
            // value = nv;
            return;
        }

        left->upd(i, j, nv);
        right->upd(i, j, nv);

        value = opt(left->value, right->value);
    }

    void upd(int k, int nv){
        if (l>k  || r<k) return;
        if (l>=k && r<=k){
            value = nv;
            return;
        }

        left->upd(k, nv);
        right->upd(k, nv);

        value = opt(left->value, right->value);
    }

    void upd1(int i, int j, int nv){
        propagate();
        if (l>j  || r<i) return;
        if (l>=i && r<=j){
            lazy = 0;
            lazy1 = nv;
            propagate();
            return;
        }

        left->upd1(i, j, nv);
        right->upd1(i, j, nv);

        value = opt(left->value, right->value);
    }
};
```

3 Programacion dinamica

3.1 LIS

```
int main() {
    ios::sync_with_stdio(false);
    cin.tie(0);

    int n;cin >> n;
    vl vals(n);
    for (int i = 0; i < n; i++) cin >> vals[i];

    vl copia(vals);
    sort(copia.begin(),copia.end());

    map <ll,ll> dicc;
    for (int i=0;i<n;i++)if (!dicc.count(copia[i])) dicc[
       copia[i]]=i;

    vl baseSt(n,0);
    nodeSt st(baseSt, 0, n - 1);
    ll maxi =0;
    for (ll pVal:vals) {
        ll op =st.get(0,dicc[pVal]-1)+1;
        maxi = max(maxi,op);
        st.actl(dicc[pVal],op);
    }
    cout<<maxi<<ln;
}
```

3.2 Knapsack

```
int main() {
    int n,w;cin>>n>>w;
    // w es la capacidad de la mochila
    // n es la cantidad de elementos
    vi pesos;
    vi valor;
    for (int i = 0; i < n; i++) {
        int p,v;cin >> p>>v;
        pesos.push_back(p);
        valor.push_back(v);
    }

    ll dp[n+1][w+1] ={0};

    for (int i =0;i<=n;i++) dp[i][0]=0;
    for (int i =0;i<=w;i++) dp[0][i]=0;

    for (int i = 1; i <= n; i++) {
        for (int j = 1; j <= w; j++) {
            ll op1 = dp[i-1][j];
            ll op2;
            if (j<pesos[i-1])op2=0;
            else op2=valor[i-1]+dp[i-1][j-pesos[i-1]];
            dp[i][j] = max(op1,op2);
        }
    }

    ll res = dp[n][w];
    cout<<res;
}
```

3.3 Cambio de monedas

```
int main() {
    int inf =9999999;

    int n,x;cin>>n>>x;
    // n: numero de monedas x: la cantidad buscada
    vi coins(n); // valor de cada moneda
    for (int i=0;i<n;i++) cin>>coins[i];
    vector<vi> dp(n+1,vi(x+1,0));

    for (int i=0;i<=x;i++) dp[0][i]=inf;
    for(int i=1;i<=n;i++){
        for(int j=1;j<=x;j++){
            if (j<coins[i-1]) dp[i][j] = dp[i-1][j];
            else dp[i][j] = min(1+dp[i][j-coins[i-1]],dp[
                i-1][j]);
        }
    }

    int res = dp[n][x];
    cout<<(res==inf?-1:res)<<ln;
}
```

3.4 Algoritmo de Kadane 2D

```
int main() {
    ll fil,col;cin>>fil>>col;
    vector<vl> grid(fil,vl(col,0));

// Algoritmo de Kadane/DP para suma maxima de una matriz
   2D en o(n^3)
    for(int i=0;i<fil;i++){
        for(int e=0;e<col;e++){
            ll num;cin>>num;
            if (e>0) grid[i][e]=num+grid[i][e-1];
            else grid[i][e]=num;
        }
    }

    ll maxGlobal=-LONG_LONG_MAX;
    for(int l=0;l<col;l++){
        for(int r=l;r<col;r++){
            ll maxLoc=0;
            for(int row=0;row<fil;row++){
                if (l>0) maxLoc+=grid[row][r]-grid[row][l
                   -1];
                else maxLoc+=grid[row][r];
                if (maxLoc<0) maxLoc=0;
                maxGlobal= max(maxGlobal,maxLoc);
            }
```

```
            }
        }
    }
```

3.5 Knuth Clasico

```
const int N = 1010;
const int INF = (int) 1e9;
int v[N], dp[N][N], sum[N], best[N][N];

int main() {
    ios::sync_with_stdio(0);
    cin.tie(0);
    int n;
    while(cin >> n) {
        if(n == 0) break;
        for(int i = 0; i < n; i++) cin >> v[i];

        for(int i = 0; i < n; i++) {
            sum[i+1] = sum[i] + v[i];
        }

        for(int i = 0; i < n; i++) best[i][i] = i;

        for(int len = 2; len <= n; ++len) {
            for(int i = 0; i+len-1 < n; ++i) {
                int j = i+len-1;
                int &ref = dp[i][j];
                ref = INF;
                for(int k = best[i][j-1]; k <= best[i+1][
                    j]; ++k) {
                     if(k < j) {
                         int cur = dp[i][k] + dp[k+1][j];
                         if(cur < ref) {
                             best[i][j] = k;
                             ref = cur;
                         }
                     }
                }
                ref += sum[j+1] - sum[i];
            }
        }

        cout << dp[0][n-1] << '\n';
    }
    return 0;
}
```

3.6 Edit Distances

```
int editDistances(string& wor1,string& wor2){
    // O(tam1*tam2)
    // minimo de letras que debemos insertar, elminar o
       reemplazar
    // de worl para obtener wor2
    ll tam1=wor1.size();
    ll tam2=wor2.size();
    vector<vl> dp(tam2+1,vl(tam1+1,0));
    for(int i=0;i<=tam1;i++)dp[0][i]=i;
    for(int i=0;i<=tam2;i++)dp[i][0]=i;
    dp[0][0]=0;
    for(int i=1;i<=tam2;i++){
        for(int j=1;j<=tam1;j++){
            ll op1 = min(dp[i-1][j],dp[i][j-1])+1;
            // el minimo entre eliminar o insertar
            ll op2 = dp[i-1][j-1]; // reemplazarlo
            if(wor1[j-1]!=wor2[i-1])op2++;
            // si el reemplazo tiene efecto o quedo igual
            dp[i][j]=min(op1,op2);
        }
    }

    return dp[tam2][tam1];
}
```

4 Grafos

4.1 DFS

```
//O(V+E)
int vertices, aristas;

vector<int> dfs_num(vertices+1, -1); //Vector del estado
    de cada vertice (visitado o no visitado)

const int NO_VISITADO = -1;
const int VISITADO = 1;

vector<vector<int>> adj(vertices + 1); //Lista adjunta
    del grafo

// Complejidad O(V + E)
void dfs(int v){
    dfs_num[v] = VISITADO;
    //Se recorren los vecinos
    for (int i = 0; i < (int) adj[v].size(); i++){

        if (dfs_num[adj[v][i]] == NO_VISITADO){
            dfs(adj[v][i]);
        }

    }
}
```

4.2 BFS

```cpp
//BFS, complejidad O(V + E)
queue<int> q; q.push(adj[1][0]);    //Origen
vi d(n+1, INT_MAX); d[adj[1][0]] = 0;   //La distancia
    del vertice a el mismo es cero
while(!q.empty()){
    int nodo = q.front(); q.pop();
    for (int i = 0; i<(int)adj[nodo].size(); i++){
        if (d[adj[nodo][i]] == INT_MAX){   //Si el vecino
             no visitado y alcanzable
            d[adj[nodo][i]] = d[nodo] + 1;    //Hacer d[
                adj[u][i]] != INT_MAX para etiquetarlo
            q.push(adj[nodo][i]);            //Anadiendo a
                la cola para siguiente iteracion
            }
        }
    }
}
```

4.3 Puentes

```cpp
vector<bool> visited;
vi tin, low;
int timer;

void IS_BRIDGE(int u, int v, vii &puentes){
    puentes.push_back({min(u, v), max(u, v)});
}

void dfs(vector<vi> &adj, vii &puentes, int v, int p =
    -1) {
    visited[v] = true;
    tin[v] = low[v] = timer++;
    for (int to : adj[v]) {
        if (to == p) continue;
        if (visited[to]) {
            low[v] = min(low[v], tin[to]);
        } else {
            dfs(adj, puentes, to, v);
            low[v] = min(low[v], low[to]);
            if (low[to] > tin[v])
                IS_BRIDGE(v, to, puentes);

        }
    }
}

void find_bridges(vector<vi> &adj, vii &puentes, int n) {
    timer = 0;
    visited.assign(n, false);
    tin.assign(n, -1);
    low.assign(n, -1);
    for (int i = 0; i < n; ++i) {
        if (!visited[i])
            dfs(adj, puentes, i);
    }
}
```

4.4 Puntos de Articulacion

```cpp
int n;
vector<vector<int>> adj;

vector<bool> visited;
vector<int> tin, low;
int timer;

void dfs(int v, int p = -1) {
    visited[v] = true;
    tin[v] = low[v] = timer++;
    int children=0;
    for (int to : adj[v]) {
        if (to == p) continue;
        if (visited[to]) {
            low[v] = min(low[v], tin[to]);
        } else {
            dfs(to, v);
            low[v] = min(low[v], low[to]);
            if (low[to] >= tin[v] && p!=-1)
                IS_CUTPOINT(v);
            ++children;
        }
    }
    if(p == -1 && children > 1)
        IS_CUTPOINT(v);
}

void find_cutpoints() {
    timer = 0;
    visited.assign(n, false);
    tin.assign(n, -1);
    low.assign(n, -1);
    for (int i = 0; i < n; ++i) {
        if (!visited[i])
            dfs (i);
    }
}
```

4.5 Puntos de articulacion y puentes (dirigidos)

```cpp
//Puntos de articulacion: son vertices que desconectan el
    grafo
//Puentes: son aristas que desconectan el grafo
//Usar para grafos dirigidos
//O(V+E)
vi dfs_num, dfs_low, dfs_parent, articulation_vertex;
int dfsNumberCounter, dfsRoot, rootChildren;
vector<vii> adj;
void articulationPointAndBridge(int u) {
```

```
        dfs_num[u] = dfsNumberCounter++;
        dfs_low[u] = dfs_num[u]; // dfs_low[u]<=dfs_num[u]
        for (auto &[v, w] : adj[u]) {
            if (dfs_num[v] == -1) { // una arista de arbol
                dfs_parent[v] = u;
                if (u == dfsRoot) ++rootChildren; // vaso especial, raiz
                articulationPointAndBridge(v);
                if (dfs_low[v] >= dfs_num[u]) // para puntos de articulacion
                    articulation_vertex[u] = 1;
                if (dfs_low[v] > dfs_num[u]) // para puentes
                    printf(" (%d, %d) is a bridge\n", u, v);
                dfs_low[u] = min(dfs_low[u], dfs_low[v]); //
            }
            else if (v != dfs_parent[u]) // si es ciclo no trivial
                dfs_low[u] = min(dfs_low[u], dfs_num[v]); // entonces actualizar
        }
    }
    int main(){
        dfs_num.assign(V, -1); dfs_low.assign(V, 0);
        dfs_parent.assign(V, -1); articulation_vertex.assign(V, 0);
        dfsNumberCounter = 0;
        adj.resize(V);

        printf("Bridges:\n");
        for (int u = 0; u < V; ++u)
            if (dfs_num[u] == -1) {
                dfsRoot = u; rootChildren = 0;
                articulationPointAndBridge(u);
                articulation_vertex[dfsRoot] = (rootChildren > 1); // caso especial
            }
        printf("Articulation Points:\n");
        for (int u = 0; u < V; ++u)
            if (articulation_vertex[u])
                printf(" Vertex %d\n", u);
    }
```

4.6 Orden Topologico

```
//Orden de un grafo estilo malla curricular de prerrequisitos
vector<vi> adj;
vi dfs_num;
vi ts;

void dfs(int v){
    dfs_num[v] = 1;
    for (int i = 0; i < (int) adj[v].size(); i++){
        if (dfs_num[adj[v][i]] != 1){
            dfs(adj[v][i]);
        }

    }
    ts.push_back(v);
}
//Imprimir el vector ts al reves: reverse(ts.begin(), ts.end());
```

4.7 Algoritmo de Khan

```
//ALgoritmo de orden topologico
//DAG: Grafo aciclico dirigido
int n, m;
vector<vi> adj;
vi grado;
vi orden;

void khan(){
    queue<int> q;

    for (int i = 1; i<=n; i++){
        if (!grado[i]) q.push(i);
    }
    int nodo;

    while(!q.empty()){
        nodo = q.front(); q.pop();
        orden.push_back(nodo);
        for (int v : adj[nodo]){
            grado[v]--;
            if (grado[v] == 0) q.push(v);
        }
    }
}

int main() {
    ios::sync_with_stdio(false);
    cin.tie(0);
    cin >> n >> m;
    adj.resize(n+1);
    grado.resize(n+1);

    for (int i = 0; i<m; i++){
        int x, y; cin >> x >> y;
        adj[x].push_back(y);
        grado[y]++;
    }

    khan();

    if (orden.size() == n){
        for (int i : orden) cout << i;
    }
    else{
```

```
            cout << "No DAG"; //No es un grafo aciclico
                dirigido (tiene un ciclo)
        }
    }
```

4.8 Floodfill

```
//Relleno por difusion-etiquetado/coloreado de
    componentes conexos
//Recorrer matrices como grafos implicitos
//Pueden usar los vectores dirx y diry en lugar de dr y
    dc si se requiere
vector<string> grid;

int R, C, ans;

int floodfill(int r, int c, char c1, char c2){
    //Devuelve tamano de CC
    if (r < 0 || r >= R || c< 0 || c >= C) return 0;
        //fuera de la rejilla
    if (grid[r][c] != c1) return 0;
        //No tiene color c1
    int ans = 1;                    //suma 1 a ans porque el
         vertice (r, c) tiene color c1
    grid[r][c] = c2;                //Colorea el vertice (r,
         c) a c2 para evitar ciclos
    for (int d = 0; d < 8; d++){
        ans += floodfill(r + dr[d], c + dc[d], c1, c2);
    }
    return ans;
}

int main() {
    ios::sync_with_stdio(false);
    cin.tie(0);
    cin >> R; cin >> C;
    cout << floodfill(0, 0, 'W', '.');
}
```

4.9 Algoritmo Kosajaru

```
//Encontrar las componentes fuertemente conexas en un
    grafo dirigido
//Componente fuertemente conexa: es un grupo de nodos en
    el que hay
//un camino dirigido desde cualquier nodo hasta cualquier
     otro nodo dentro del grupo.
void Kosaraju(int u, int pass) {
    dfs_num[u] = 1;
    vii &neighbor = (pass == 1) ? AL[u] : AL_T[u];
    for (auto &[v, w] : neighbor)
        if (dfs_num[v] == UNVISITED)
            Kosaraju(v, pass);
    S.push_back(u);
}

int main(){
    S.clear();
    dfs_num.assign(N, UNVISITED);
    for (int u = 0; u < N; ++u)
        if (dfs_num[u] == UNVISITED)
            Kosaraju(u, 1);
    numSCC = 0;
    dfs_num.assign(N, UNVISITED);
    for (int i = N-1; i >= 0; --i)
        if (dfs_num[S[i]] == UNVISITED)
            ++numSCC, Kosaraju(S[i], 2);
    printf("There are %d SCCs\n", numSCC);
}
```

4.10 Dijkstra

```
//Camino mas cortos
//NO USAR CON PESOS NEGATIVOS, usar Bellman Ford o SPFA(
    mas rapido)
// O ((V+E)*log V)
vi dijkstra(vector<vii> &adj, int s, int V){
    vi dist(V+1, INT_MAX); dist[s] = 0;
    priority_queue<ii, vii, greater<ii> > pq; pq.push(ii
        (0, s));
    while(!pq.empty()){
        ii front = pq.top(); pq.pop();
        int d = front.first, u = front.second;
        if (d > dist[u]) continue;

        for (int j = 0; j < (int)adj[u].size(); j++){
            ii v = adj[u][j];
            if (dist[u] + v.second < dist[v.first]){
                dist[v.first] = dist[u] + v.second;
                pq.push(ii(dist[v.first], v.first));
            }
        }
    }
    return dist;
}
```

4.11 Bellman Ford

```
vi bellman_ford(vector<vii> &adj, int s, int n){
    vi dist(n, INF); dist[s] = 0;
    for (int i = 0; i<n-1; i++){
        bool modified = false;
        for (int u = 0; u<n; u++)
            if (dist[u] != INF)
```

```
            for (auto &[v, w] : adj[u]){
                if (dist[v] <= dist[u] + w) continue;
                dist[v] = dist[u] + w;
                modified = true;
            }
        if (!modified) break;
    }

    bool negativeCicle = false;
    for (int u = 0; u<n; u++)
        if (dist[u] != INF)
            for (auto &[v, w] : adj[u]){
                if (dist[v] > dist[u] + w) negativeCicle
                    = true;
            }

    return dist;
}
```

4.12 Floyd Warshall

```
//Camino minimo entre todos los pares de vertices
int main() {
    ios::sync_with_stdio(false);
    cin.tie(0);
    int n; cin >> n;
    vector<vi> adjMat(n+1, vi(n+1));
    //Condicion previa: adjMat[i][j] contiene peso de la
        arista (i, j)
    //o INF si no existe esa arista
    for (int k = 0; k < n; ++k) {
        for (int i = 0; i < n; ++i) {
            for (int j = 0; j < n; ++j) {
                if (adjMat[i][k] < INF && adjMat[k][j] <
                    INF)
                    adjMat[i][j] = min(adjMat[i][j],
                        adjMat[i][k] + adjMat[k][j]);
            }
        }
    }
}
```

4.13 MST Kruskal

```
//Arbol de minima expansion
//O(E*log V)
int main() {
    int n, m;
    cin >> n >> m;
    vector<pair<int, ii>> adj; //Los pares son: {peso, {
        vertice, vecino}}

    for (int i = 0; i<m; i++){
        int x, y, w; cin >> x >> y >> w;
        adj.push_back(make_pair(w, ii(x, y)));
    }

    sort(adj.begin(), adj.end());

    int mst_costo = 0, tomados = 0;
    dsu UF(n);
    for (int i = 0; i<m && tomados < n-1; i++){
        pair<int, ii> front = adj[i];
        if (!UF.is_same_set(front.second.first, front.
            second.second)){
            tomados++;
            mst_costo += front.first;
            UF.unionSet(front.second.first, front.second.
                second);
        }
    }
    cout << mst_costo;
}
```

4.14 MST Prim

```
vector<vii> adj;
vi tomado;
priority_queue<ii> pq;
void process(int u){
    tomado[u] = 1;
    for (auto &[v, w] : adj[u]){
        if (!tomado[v]) pq.emplace(-w, -v);
    }
}

int prim(int v, int n){
    tomado.assign(n, 0);
    process(0);
    int mst_costo = 0, tomados = 0;
    while (!pq.empty()){
        auto [w, u] = pq.top(); pq.pop();
        w = -w; u = -u;
        if (tomado[u]) continue;
        mst_costo += w;
        process(u);
        tomados++;
        if (tomados == n-1) break;
    }
    return mst_costo;
}
```

4.15 Shortest Path Faster Algorithm

```
//Algoritmo mas rapido de ruta minima
//O(V*E) peor caso, O(E) en promedio.
```

```
bool spfa(vector<vii> &adj, vector<int> &d, int s, int n)
     {
    d.assign(n, INF);
    vector<int> cnt(n, 0);
    vector<bool> inqueue(n, false);
    queue<int> q;

    d[s] = 0;
    q.push(s);
    inqueue[s] = true;
    while (!q.empty()) {
        int v = q.front();
        q.pop();
        inqueue[v] = false;

        for (auto edge : adj[v]) {
            int to = edge.first;
            int len = edge.second;

            if (d[v] + len < d[to]) {
                d[to] = d[v] + len;
                if (!inqueue[to]) {
                    q.push(to);
                    inqueue[to] = true;
                    cnt[to]++;
                    if (cnt[to] > n)
                        return false;//ciclo negativo
                }
            }
        }
    }
    return true;
}
```

4.16 Camino mas corto de longitud fija

```
/*
Modificar operacion * de matrix de esta forma:
En la exponenciacion binaria inicializar matrix ans = b
*/
matrix operator * (const matrix &b){
    matrix ans(this->r, b.c, vector<vl>(this->r, vl(b.c,
        INFL)));

    for (int i = 0; i<this->r; i++) {
        for (int k = 0; k<b.r; k++){
            for (int j = 0; j<b.c; j++){
                ans.m[i][j] = min(ans.m[i][j], m[i][k] +
                    b.m[k][j]);
            }
        }
    }
    return ans;
}
```

```
int main() {
    int n, m, k; cin >> n >> m >> k;

    vector<vl> adj(n, vl(n, INFL));

    for (int i = 0; i<m; i++){
        ll a, b, c; cin >> a >> b >> c; a--; b--;
        adj[a][b] = min(adj[a][b], c);
    }

    matrix graph(n, n, adj);
    graph = pow(graph, k-1);

    cout << (graph.m[0][n-1]==INFL ? -1 : graph.m[0][n
        -1]) << "\n";

    return 0;
}
```

5 Flujos

5.1 Edmonds-Karp

```
//O(V * E^2)
ll bfs(vector<vi> &adj, vector<vl> &capacity, int s, int
    t, vi& parent) {
    fill(parent.begin(), parent.end(), -1);
    parent[s] = -2;
    queue<pll> q;
    q.push({s, INFL});

    while (!q.empty()) {
        int cur = q.front().first;
        ll flow = q.front().second;
        q.pop();

        for (int next : adj[cur]) {
            if (parent[next] == -1LL && capacity[cur][
                next]) {
                parent[next] = cur;
                ll new_flow = min(flow, capacity[cur][
                    next]);
                if (next == t)
                    return new_flow;
                q.push({next, new_flow});
            }
        }
    }

    return 0;
}

ll maxflow(vector<vi> &adj, vector<vl> &capacity, int s,
    int t, int n) {
    ll flow = 0;
```

```cpp
    vi parent(n);
    ll new_flow;

    while ((new_flow = bfs(adj, capacity, s, t, parent))) {
        flow += new_flow;
        int cur = t;
        while (cur != s) {
            int prev = parent[cur];
            capacity[prev][cur] -= new_flow;
            capacity[cur][prev] += new_flow;
            cur = prev;
        }
    }

    return flow;
}
```

5.2 Dinic

```cpp
//O(V^2 * E)
//En redes unitarias: O(E * sqrt(V))
struct FlowEdge {
    int v, u;
    ll cap, flow = 0;
    FlowEdge(int v, int u, ll cap) : v(v), u(u), cap(cap) {}
};

struct Dinic {
    const ll flow_inf = INFL;
    vector<FlowEdge> edges;
    vector<vi> adj;
    int n, m = 0;
    int s, t;
    vi level, ptr;
    queue<int> q;

    Dinic(int n, int s, int t) : n(n), s(s), t(t) {
        adj.resize(n);
        level.resize(n);
        ptr.resize(n);
    }

    void add_edge(int v, int u, ll cap) {
        edges.emplace_back(v, u, cap);
        edges.emplace_back(u, v, 0);
        adj[v].push_back(m);
        adj[u].push_back(m + 1);
        m += 2;
    }

    bool bfs() {
        while (!q.empty()) {
            int v = q.front();
            q.pop();
            for (int id : adj[v]) {
                if (edges[id].cap - edges[id].flow < 1)
                    continue;
                if (level[edges[id].u] != -1)
                    continue;
                level[edges[id].u] = level[v] + 1;
                q.push(edges[id].u);
            }
        }
        return level[t] != -1;
    }

    ll dfs(int v, ll pushed) {
        if (pushed == 0)
            return 0;
        if (v == t)
            return pushed;
        for (int& cid = ptr[v]; cid < (int)adj[v].size(); cid++) {
            int id = adj[v][cid];
            int u = edges[id].u;
            if (level[v] + 1 != level[u] || edges[id].cap - edges[id].flow < 1)
                continue;
            ll tr = dfs(u, min(pushed, edges[id].cap - edges[id].flow));
            if (tr == 0)
                continue;
            edges[id].flow += tr;
            edges[id ^ 1].flow -= tr;
            return tr;
        }
        return 0;
    }

    ll flow() {
        ll f = 0;
        while (true) {
            fill(all(level), -1);
            level[s] = 0;
            q.push(s);
            if (!bfs())
                break;
            fill(all(ptr), 0);
            while (ll pushed = dfs(s, flow_inf)) {
                f += pushed;
            }
        }
        return f;
    }
};
```

5.3 Maximum Bipartite Matching

```
int main() {
    //n: numero de grupo 1, m: numero de grupo 2, k:
        posibles conexiones
    int n, m, k; cin >> n >> m >> k;

    Dinic graph(n+m+2, 0, n+m+1);

    //nodo inicial ficticio "0" que se dirige a todos los
        del grupo 1
    for (int i = 1; i<=n; i++) graph.add_edge(0, i, 1LL);

    //nodo final ficticio "n+m+1" al que se dirigen todos
        los del grupo 2
    for (int i = 1; i<=m; i++) graph.add_edge(n+i, n+m+1,
        1LL);

    //anadiendo las posibles conexiones al grafo
    for (int i = 0; i<k; i++){
        int a, b; cin >> a >> b;
        graph.add_edge(a, n+b, 1LL);
    }

    //numero de emparejamientos realizados
    cout << graph.flow() << ln;

    //emparejamientos realizados
    for (FlowEdge edge : graph.edges){
        if (edge.v != 0 && edge.u != n+m+1 && edge.flow >
            0){
            cout << edge.v << " " << edge.u - n << ln;
        }
    }

    return 0;
}
```

6 Matematicas

6.1 Criba de Eratostenes

```
// O(N log log N)
ll _sieve_size;
bitset<10000010> bs;     //10^7 es el limite aprox
vl p;                    //Lista compacta de primos
void sieve(ll upperbound) {         //Rango = [0..limite]
    _sieve_size = upperbound+1;     //Para incluir al
        limite
    bs.set();                       //Todo unos
    bs[0] = bs[1] = 0;              //0 y 1 (no son
        primos)
    for (ll i = 2; i < _sieve_size; ++i) if (bs[i]) {
        for (ll j = i*i; j < _sieve_size; j += i) bs[j] =
            0;
        p.push_back(i);             //Anadir primo i a la
            lista
        }
    }
```

6.2 Descomposicion en primos (y mas cosas)

```
ll _sieve_size;
bitset<10000010> bs;
vl p;
void sieve(ll upperbound) {
    _sieve_size = upperbound+1;
    bs.set();
    bs[0] = bs[1] = 0;
    for (ll i = 2; i < _sieve_size; ++i) if (bs[i]) {
        for (ll j = i*i; j < _sieve_size; j += i) bs[j] =
            0;
        p.push_back(i);
    }
}
// O( sqrt(N) / log(sqrt(N)) )
vl primeFactors(ll N) {
    vl factors;
    for (int i = 0; (i < (int)p.size()) && (p[i]*p[i] <=
        N); ++i)
        while (N%p[i] == 0) {       //Hallado un primo
            para N
            N /= p[i];              //Eliminarlo de N
            factors.push_back(p[i]);
        }
    if (N != 1) factors.push_back(N);//El N restante es
        primo
    return factors;
}
int main(){
    sieve(10000000);
}

//Variantes del algoritmo

//Contar el numero de divisores de N
int numDiv(ll N) {
    int ans = 1;    //Empezar con ans = 1
    for (int i = 0; (i < (int)p.size()) && (p[i]*p[i] <=
        N); ++i) {
        int power = 0;  //Contar la potencia
        while (N%p[i] == 0) { N /= p[i]; ++power; }
        ans *= power+1; //Seguir la formula
    }
    return (N != 1) ? 2*ans : ans;  //Ultimo factor = N^1
}

//Suma de los divisores de N
//N = a^i * b^i * ... * c^k => N = (a^(i+1) - 1) / (a-1)
    + ...
ll sumDiv(ll N) {
```

```
    ll ans = 1;          // empezar con ans = 1
    for (int i = 0; (i < (int)p.size()) && (p[i]*p[i] <=
        N); ++i) {
        ll multiplier = p[i], total = 1;
        while (N%p[i] == 0) {
            N /= p[i];
            total += multiplier;
            multiplier *= p[i];
        }                                   // total para
        ans *= total;                       // este
            factor primo
    }
    if (N != 1) ans *= (N+1);    // N^2-1/N-1 = N+1
    return ans;
}
```

6.3 Prueba de primalidad

```
ll _sieve_size;
bitset<10000010> bs;
vl p;
void sieve(ll upperbound) {
    _sieve_size = upperbound+1;
    bs.set();
    bs[0] = bs[1] = 0;
    for (ll i = 2; i < _sieve_size; ++i) if (bs[i]) {
        for (ll j = i*i; j < _sieve_size; j += i) bs[j] =
             0;
        p.push_back(i);
    }
}
bool isPrime(ll N) {
    if (N < _sieve_size) return bs[N]; // O(1) primos
        pequenos
    for (int i = 0; i < (int)p.size() && p[i]*p[i] <= N;
        ++i)
        if (N%p[i] == 0)
            return false;
    return true;          // O ( sqrt(N) / log(sqrt(N)) )
        para N > 10^7
}   //Nata: solo se garantiza para N <= (ultimo primo de
   p)^2 = 9.99 * 10^13
```

6.4 Criba Modificada

```
//Criba modificada
/*
Si hay que determinar el numero de factores primos para
    muchos (o un rango) de enteros.
La mejor solucion es el algoritmo de criba modificada O(N
     log log N)
*/
int numDiffPFarr[MAX_N+10] = {0}; // e.g., MAX_N = 10^7
for (int i = 2; i <= MAX_N; ++i)
    if (numDiffPFarr[i] == 0) // i is a prime number
        for (int j = i; j <= MAX_N; j += i)
            ++numDiffPFarr[j]; // j is a multiple of i

//Similar para EulerPhi
int EulerPhi[MAX_N+10];
for (int i = 1; i <= MAX_N; ++i) EulerPhi[i] = i;
for (int i = 2; i <= MAX_N; ++i)
    if (EulerPhi[i] == i) // i is a prime number
        for (int j = i; j <= MAX_N; j += i)
            EulerPhi[j] = (EulerPhi[j]/i) * (i-1);
```

6.5 Funcion Totient de Euler

```
//EulerPhi(N): contar el numero de enteros positivos < N
    que son primos relativos a N.
//El vector p es el que genera la criba de eratostenes
//Phi(N) = N * productoria(1 - (1/pi))
ll EulerPhi(ll N) {
    ll ans = N; // Empezar con ans = N
    for (int i = 0; (i < (int)p.size()) && (p[i]*p[i] <=
        N); ++i) {
        if (N%p[i] == 0) ans -= ans/p[i]; //contar
            factores
        while (N%p[i] == 0) N /= p[i];    //primos unicos
    }
    if (N != 1) ans -= ans/N; // ultimo factor
    return ans;
}
```

6.6 Exponenciacion binaria

```
ll binpow(ll b, ll n, ll m) {
    b %= m;
    ll res = 1;
    while (n > 0) {
        if (n & 1)
            res = res * b % m;
        b = b * b % m;
        n >>= 1;
    }
    return res % m;
}
```

6.7 Exponenciacion matricial

```
struct matrix {
    int r, c; vector<vl> m;
```

```
    matrix(int r, int c, const vector<vl> &m) : r(r), c(c
        ), m(m){}

    matrix operator * (const matrix &b){
        matrix ans(this->r, b.c, vector<vl>(this->r, vl(b
            .c, 0)));
        for (int i = 0; i<this->r; i++) {
            for (int k = 0; k<b.r; k++){
                if (m[i][k] == 0) continue;
                for (int j = 0; j<b.c; j++){
                    ans.m[i][j] += mod(m[i][k], MOD) *
                        mod(b.m[k][j], MOD);
                    ans.m[i][j] = mod(ans.m[i][j], MOD);
                }
            }
        }
        return ans;
    }
};

matrix pow(matrix &b, ll p){
    matrix ans(b.r, b.c, vector<vl>(b.r, vl(b.c, 0)));
    for (int i = 0; i<b.r; i++) ans.m[i][i] = 1;
    while (p){
        if (p&1){
            ans = ans*b;
        }
        b = b*b;
        p >>= 1;
    }
    return ans;
}
```

6.8 Fibonacci Matriz

```
/*
[1 1] p    [fib(p+1) fib(p)]
[1 0]   =  [fib(p) fib(p-1)]
*/
vector<vl> matriz = {{1, 1}, {1, 0}};
matrix m(2, 2, matriz);

ll n; cin >> n;

cout << pow(m, n).m[0][1] << "\n";
```

6.9 GCD y LCM

```
//O(log10 n) n == max(a, b)
int gcd(int a, int b) { return b == 0 ? a : gcd(b, a%b);
    }
int lcm(int a, int b) { return a / gcd(a, b) * b; }
//gcd(a, b, c) = gcd(a, gcd(b, c))
```

6.10 Algoritmo Euclideo Extendido

```
// O(log(min(a, b)))
ll extEuclid(ll a, ll b, ll &x, ll &y){
    ll xx = y = 0;
    ll yy = x = 1;
    while (b){
        ll q = a/b;
        ll t = b; b = a%b; a = t;
        t = xx; xx = x-q*xx; x = t;
        t = yy; yy = y-q*yy; y = t;
    }
    return a;   //Devuelve gcd(a, b)
}
```

6.11 Inverso modular

```
ll mod(ll a, ll m){
    return ((a%m) + m) % m;
}

ll modInverse(ll b, ll m){
    ll x, y;
    ll d = extEuclid(b, m, x, y);  //obtiene b*x + m*y ==
        d
    if (d != 1) return -1;          //indica error
    // b*x + m*y == 1, ahora aplicamos (mod m) para
       obtener b*x == 1 (mod m)
    return mod(x, m);
}

// Otra forma
// O(log MOD)
ll inv (ll a){
    return binpow(a, MOD-2, MOD);
}
```

6.12 Coeficientes binomiales

```
const int MAX_N = 100010;   // MOD > MAX_N
// O (log MOD)
ll inv (ll a){
    return binpow(a, MOD-2, MOD);
}

ll fact[MAX_N];
// O(log MOD)
ll C(int n, int k){
    if (n < k) return 0;
    return (((fact[n] * inv(fact[k])) % MOD) * inv(fact[n
        -k])) % MOD;
```

```
}

int main() {
    fact[0] = 1;
    for (int i = 1; i<MAX_N; i++){
        fact[i] = (fact[i-1]*i) % MOD;
    }
    cout << C(100000, 50000) << "\n";

    return 0;
}
```

7 Strings

7.1 Funcion Z

```
// Funcion z O(s)
vi z_function(string s) {
  int n=len(s),l=0,r=0;
  vi z(n);
  for(int i=1;i<n;i++){
    if(i<r)z[i]=min(r - i, z[i - l]);
    while(i+z[i]<n && s[z[i]]==s[i+z[i]])z[i]++;
    if(i+z[i]>r){
      l=i;
      r=i+z[i];
    }
  }
  return z;
}
```

7.2 Algoritmo Z

```
// Para encontrar la subcadena comun mas larga entre dos
   strings O(s)
vi z_algoritm(string s){
  int n=len(s),l=0,r=0;
  vi z(n);
  for(int i=1;i<n;i++){
    z[i]=max(0, min(z[i-l], r-i+1));
    while(i+z[i]<n && s[z[i]]==s[i+z[i]]){
      l=i,r=i+z[i],++z[i];
    }
  }
  return z;
}

int main() {
string t="abababab",p="aba";
vi z=z_algoritm(p+"$"+t);
for(int i=len(p)+1;i<sz(z);i++){
cout<<z[i]<<" ";
}cout<<"\n";
return 0;
}
```

7.3 Funcion Phi

```
// Funcion phi O(s)
vi prefix_function(string s){
  int n=len(s);
  vi pi(n);
  for(int i=1;i<n;i++) {
    int j=pi[i-1];
    while(j>0 && s[i]!=s[j])j=pi[j-1];
    if (s[i]==s[j])j++;
    pi[i]=j;
  }
  return pi;
}

int main() {
vi pi=prefix_function(string); // Obtener phi
//Lo siguiente es para saber cuantas veces aparece cada
   prefijo O(n)
int n=len(s);
vi ans(n + 1);
for(int i=0;i<n;i++)ans[pi[i]]++;
for(int i=n-1;i>0;i--)ans[pi[i-1]]+=ans[i];
for(int i=0;i<=n;i++)ans[i]++;
for(int i=0;i<=n;i++)cout<<"El prefijo de tamano "<<i<<"
   aparece "<<ans[i]<<" veces\n";
return 0;
}
```

7.4 Kmp

```
// Implementar primero prefix_function
// O(t+p)
int matches=0;
void kmp(string &t, string &p){
  vi phi=prefix_function(p);
  for(int i=0,j=0;i<sz(t);i++){
    while(j>0 && t[i]!=p[j])j=phi[j-1];
    if(t[i]==p[j])j++;
    if(j==sz(p)){
      cout<<i-j+1<<" "; // Posicion de la ocurrencia
      matches++;
      j=phi[j-1];
    }
  }
}

// Devuelve el arreglo de matches sin implementar
   prefix_function
```

```
const int MAX=2e5+9;
int pi[MAX];
// Pasar el arreglo int d con tamano len(t)
void kmp_vi(string& p, string& t, int *d){
        pi[0]=0;int m=len(p),n=len(t);
        for(int i=1,k=0;i<m;i++){
                while(k>0 && p[k]!=p[i])k=pi[k-1];
                if(p[i]==p[k])k++;
                pi[i]=k;
        }
        for(int i=0,k=0;i<n;i++){
                while(k>0 && p[k]!=t[i])k=pi[k-1];
                if(t[i]==p[k])k++;
                d[i]=k;
                if(k==m)k=pi[k-1];
        }
}
```

7.5 Aho-Corasick

```
// Usar el aho-corasick para buscar multiples patrones en
    un texto
const static int N=1e5; // Maximo de strings
const static int alpha = 26; // Tamano del alfabeto
int trie[N][alpha], fail[N], nodes, end_word[N], cnt_word
   [N], fail_out[N];
inline int conv(char ch) { // Funcion para indexar el
   alfabeto
  return ((ch >= 'a' && ch <= 'z') ? ch-'a' : ch-'A'+26);
}

// Para cada string, se agrega al trie O(s), peor caso O(
   s*n) n=numero de strings
void add(string &s, int i) {
  int act=0;
  for(char c:s) {
    int x=conv(c);
    if(!trie[act][x]) trie[act][x]=++nodes;
    act=trie[act][x];
  }
  ++cnt_word[act];
  end_word[act]=i;
}

// Se crea el trie con bfs O(N*log(ALPHA))
void build(){
  queue<int> q;q.push(0);
  while(sz(q)){
    int u=q.front();q.pop();
    for(int i=0;i<alpha;++i) {
      int v=trie[u][i];
      if(!v)trie[u][i]=trie[fail[u]][i];
      else q.push(v);
      if(!u || !v)continue;
      fail[v]=trie[ fail[u] ][i];
      fail_out[v]=end_word[fail[v]]?fail[v]:fail_out[fail
         [v]];
      cnt_word[v]+=cnt_word[fail[v]];
    }
  }
}

// O(n+m) donde n=tamano del texto y m=cantidad de
   strings
vs strings;
void searchPatterns(string &t) {
  int act=0, n=len(t);
  for(int i=0;i<n;++i) {
    int x=conv(t[i]);
    act=trie[act][x];
    int temp=act;
    while(temp){
      if(end_word[temp])cout<<"En la posicion "<<i<<" se
         encontro la palabra "<<strings[end_word[temp
         ]-1]<<"\n";
      temp=fail_out[temp];
    }
  }
}

// Por si solo se necesita saber si esta O(s)
void solve(int index, string s){
  int act=0;
  bool pass=false;
  for(auto c:s){
    int x=c-'a';
    while(act && !trie[act][x])act=fail[act];
    act=trie[act][x];
    pass|=end_word[act]<index;
  }
  cout<<(pass?"YES":"NO")<<"\n";
}

int main() {
add(string, i+1); //Anadir todos los patrones
build(); // Construir el trie
searchPatterns(texto); // Buscar todos los patrones en el
    texto
return 0;
}
```

7.6 Hashing

```
// se recomienda usar m = pow(2,64) porque
// m=1e9+9 no es suficiente para la multiplicacion de dos
    64-bit integers
// Porque la probabilidad de colisiones es 1/m = 10^-9
// y si son 10^6 strings que hay que comparar con este
```

```
    entonces 1/m = 10^-3
// y comparamos unos con otros entonces 1/m = 1, si o si
    va a haber algun fallo
// Una solucion sencilla es hacer dos hash (hash1, hash2)
// con p diferentes para tener una probabilidad de
    1/10^18
// y si comparamos unos con otros entonces 1/m = 10^-6

// Dos strings con mismo hash no necesariamente son
    iguales
// Pero si tienen distinto hash, entonces son distintos
ll compute_hash(string const& s) { // O(n)
  const int p = 31; // 51 si se usan mayusculas tambien
  // Importante que m sea un numero primo
  const int m = 1e9 + 9;
  ll hash_value=0;
  ll p_pow=1;
  for (char c:s) {
    hash_value=(hash_value+(c-'a'+1)*p_pow)%m;
    p_pow=(p_pow*p)%m;
  }
  return hash_value;
}

// O(n(m+logn)) n=cantidad de strings, m=tamano del
    string mas largo
vector<vi> group_identical_strings(vs const& s) {
  int n=s.size();
  vector<pair<ll, int>> hashes(n);
  for(int i=0;i<n;i++)
    hashes[i]={compute_hash(s[i]),i};
  sort(all(hashes));
  vector<vi> groups;
  for(int i=0;i<n;i++) {
    // Si es el primero o si el hash es distinto al
        anterior entonces es un nuevo grupo
    if(i==0 || hashes[i].first!=hashes[i-1].first)groups.
        emplace_back();
    groups.back().push_back(hashes[i].second);
  }
  return groups;
}
```

7.7 Manacher

```
//  a b c b a a b
//  1 1 5 1 1 1 1  f = 0 impar
//  0 0 0 0 0 4 0  f = 1 par (raiz, izq, der)
void manacher(string &s, int f, vi &d){ // O(s)
  int l=0, r=-1, n=len(s);
  d.assign(n,0);
  for(int i=0;i<n;++i){
    int k=(i>r?(1-f):min(d[l+r-i+ f], r-i+f))+f;
    while(i+k-f<n && i-k>=0 && s[i+k-f]==s[i-k])++k;
    d[i]=k-f;--k;
    if(i+k-f>r)l=i-k,r=i+k-f;
  }
  for(int i=0;i<n;++i)d[i]=(d[i]-1+f)*2+1-f;
}

int main() {
string s;cin>>s;
vi manacher_odd, manacher_even;
manacher(s, 0, manacher_odd);
manacher(s, 1, manacher_even);
for(int i=0;i<len(s);++i){
  if(manacher_odd[i]==0 || manacher_odd[i]==1)continue;
  cout<<s.substr(i-manacher_odd[i]/2, manacher_odd[i])<<"
      ";
}
cout<<"\n";
for(int i=0;i<len(s);++i){
  if(manacher_even[i]==0)continue;
  cout<<s.substr(i-manacher_even[i]/2, manacher_even[i])
      <<" ";
}
cout<<"\n";
}
```

7.8 Minimal-Rotation

```
// Encuentra la rotacion lexicograficamente menor de un
    string O(n)
int minimal_rotation(string& t) {
  int i=0,j=1,k=0,n=len(t),x,y;
  while(i<n && j<n && k<n) {
    x=i+k;y=j+k;
    if(x>=n)x-=n;
    if(y>=n)y-=n;
    if(t[x]==t[y])++k;
    else if(t[x]>t[y]){
      i=j+1>i+k+1?j+1:i+k+1;
      swap(i,j);
      k=0;
    }else{
      j=i+1>j+k+1?i+1:j+k+1;
      k=0;
    }
  }
  return i;
}

// Son lo mismo
string min_cyclic_string(string s) {
  s+=s;
  int n=len(s),i=0,ans=0;
  while(i<n/2){
    ans=i;
```

```
      int j=i+1,k=i;
      while(j<n && s[k]<=s[j]){
        if(s[k]<s[j])k=i;
        else k++;
        j++;
      }
      while(i<=k)
      i+=j-k;
    }
    return s.substr(ans, n/2);
  }
```

7.9 Rabin-Karp

```
// O(s+t)
// Dado un patron s y un texto t, devuelve un vector con
    las posiciones de las ocurrencias de s en t
vi rabin_karp(string const& s, string const& t) {
  // Ojo con p y m
  const int p=31;
  const int m=1e9+9;
  int S=s.size(),T=t.size();
  vl p_pow(max(S, T));
  p_pow[0]=1;
  // Precalculo de potencias de p
  for(int i=1;i<sz(p_pow);i++)p_pow[i]=(p_pow[i-1]*p)%m;
  vl h(T+1,0);
  // Precalculo de hashes de prefijos de t
  for(int i=0;i<T;i++)h[i+1]=(h[i]+(t[i]-'a'+1)*p_pow[i])
      %m;
  ll h_s=0;
  // Hash de s
  for(int i=0;i<S;i++)h_s=(h_s+(s[i]-'a'+1)*p_pow[i])%m;
  vi occurrences;
  for(int i=0;i+S-1<T;i++) {
    ll cur_h=(h[i+S]+m-h[i])%m;
    if(cur_h==h_s*p_pow[i]%m)occurrences.push_back(i);
  }
  return occurrences;
}
```

7.10 Kmp-Automata

```
const int N = 1e5; // Tamano del automata
const int ALPHA = 255; // Tamano del alfabeto ASCII
int automata[N][ALPHA]; // Tabla de transicion del
    automata

// O(s*ALPHA)
void kmp_automata(string& s){
  automata[0][s[0]] = 1;
  for(int i = 1, j = 0; i <= len(s); ++i){
    // Copiar la fila anterior
    for(int k = 0; k < ALPHA; ++k)automata[i][k] =
        automata[j][k];
    // Actualizar la entrada correspondiente al caracter
        actual
    if(i<len(s)){
      automata[i][s[i]]=i+1;
      j=automata[j][s[i]];
    }
  }
}
```

7.11 Suffix Array Forma 1

```
// O(nlogn)
vi sort_cyclic_shifts(string const& s) {
  int n=len(s);
  const int alphabet=256;
  vi p(n),c(n),cnt(max(alphabet,n),0);
  for(int i=0;i<n;i++)cnt[s[i]]++;
  for(int i=1;i<alphabet;i++)cnt[i]+=cnt[i-1];
  for(int i=0;i<n;i++)p[--cnt[s[i]]]=i;
  c[p[0]]=0;
  int classes=1;
  for(int i=1;i<n;i++) {
    if(s[p[i]]!=s[p[i-1]])classes++;
    c[p[i]]=classes-1;
  }
  vi pn(n),cn(n);
  for(int h=0;(1<<h)<n;++h) {
    for(int i=0;i<n;i++) {
      pn[i]=p[i]-(1<<h);
      if(pn[i]<0)pn[i]+=n;
    }
    fill(cnt.begin(),cnt.begin()+classes,0);
    for(int i=0;i<n;i++)cnt[c[pn[i]]]++;
    for(int i=1;i<classes;i++)cnt[i]+=cnt[i-1];
    for(int i=n-1;i>=0;i--)p[--cnt[c[pn[i]]]]=pn[i];
    cn[p[0]]=0;
    classes=1;
    for(int i = 1; i < n; i++) {
      ii cur={c[p[i]],c[(p[i]+(1<<h))%n]};
      ii prev={c[p[i-1]],c[(p[i-1]+(1<<h))%n]};
      if(cur!=prev)++classes;
      cn[p[i]]=classes-1;
    }
    c.swap(cn);
  }
  return p;
}

// O(nlogn)
vi suffix_array(string s) {
  s+="$";
```

```
  vi sorted_shifts=sort_cyclic_shifts(s);
  sorted_shifts.erase(sorted_shifts.begin());
  return sorted_shifts;
}

// O(n)
// Longest common prefix
vi lcp_construction(string const& s, vi const& p) {
  int n=len(s);
  vi rank(n,0);
  for(int i=0;i<n;i++)rank[p[i]]=i;
  int k=0;
  vi lcp(n-1,0);
  for(int i=0;i<n;i++){
    if(rank[i]==n-1) {
      k=0;continue;
    }
    int j=p[rank[i]+1];
    while(i+k<n && j+k<n && s[i+k]==s[j+k])k++;
    lcp[rank[i]] = k;
    if(k)k--;
  }
  return lcp;
}

int main() {
string s;cin>>s;int n=len(s);
vi sa=suffix_array(s);
cout<<"Desde el index, el suffix array\n";
for(int i=0;i<n;i++)cout<<sa[i]<<" ";
cout<<"\nVa comparando de 2 en 2 y muestra el lcp:\n";
vi lcp=lcp_construction(s,sa);
for(int i=0;i<n-1;i++)cout<<lcp[i]<<" ";
}
```

7.12 Suffix Array Forma 2

```
// Construccion O(nlogn)
// Usar cuando queremos ver patron por patron, es mejor
    que el aho-corasick
struct SuffixArray{
  char MIN_CHAR='$';
  int ALPHA=256;
  int n;
  string s;
  vi pos, rnk, lcp;
  SuffixArray(const string &_s):n(len(_s) + 1), s(_s),
      pos(n), rnk(n), lcp(n-1){
    s+=MIN_CHAR;
    buildSA();
    buildLCP();
  }

  void buildSA(){
    vi cnt(max(ALPHA, n));
    for(int i=0;i<n;i++)cnt[s[i]]++;
    for(int i=1;i<ALPHA;i++)cnt[i]+=cnt[i-1];
    for(int i=n-1;i>=0;i--)pos[--cnt[s[i]]]=i;
    for(int i=1;i<n;i++)rnk[pos[i]]=rnk[pos[i-1]]+(s[pos[
        i]]!=s[pos[i-1]]);
    for(int k=0;(1<<k)<n;k++) {
      vi npos(n),nrnk(n),ncnt(n);
      for(int i=0;i<n;i++)pos[i]=(pos[i]-(1<<k)+n)%n;
      for(int i=0; i < n; i++)ncnt[rnk[i]]++;
      for(int i=1; i < n; i++)ncnt[i]+=ncnt[i-1];
      for(int i=n-1;i>=0;i--)npos[--ncnt[rnk[pos[i]]]]=
          pos[i];
      for(int i=1;i<n;i++){
        ii cur={rnk[npos[i]],rnk[(npos[i]+(1<<k))%n]};
        ii pre={rnk[npos[i-1]],rnk[(npos[i-1]+(1<<k))%n
            ]};
        nrnk[npos[i]]=nrnk[npos[i-1]]+(cur!=pre);
      }
      pos=npos;rnk=nrnk;
    }
  }

  void buildLCP(){
    for(int i=0,k=0;i<n-1;i++,k=max(k-1,0)){
      int j=pos[rnk[i]-1];
      while(s[i+k]==s[j+k])k++;
      lcp[rnk[i]-1]=k;
    }
  }

  // O(logn+t)
  // Encuentra cuantas veces aparece t en s
  int cntMatching(const string &t){
    int m=len(t);
    if(m>n)return 0;
    int lo,hi,lb,ub;
    lo=0,hi=n-1;
    while(lo<hi){
      int mid=(lo+hi)/2;
      if(s.substr(pos[mid],m)>=t)hi=mid;
      else lo=mid+1;
    }
    lb=lo;lo=0,hi=n-1;
    while(lo<hi){
      int mid=(lo+hi+1)/2;
      if(s.substr(pos[mid],m)<=t)lo=mid;
      else hi=mid-1;
    }
    ub=lo;
    return s.substr(pos[lb], m)==t?ub-lb+1:0;
  }
};

int main() {
string s;cin>>s;
```

```
    int n;cin>>n;
    SuffixArray sa(s);
    for(int i=0;i<n;i++){
      string t;cin>>t;
      cout<<sa.cntMatching(t)<<"\n";
    }
    }
```

7.13 Suffix Automata Forma 1

```
// La creacion del automata es O(n)
struct state {
  int len,link;
  map<char,int>next;
};

const int N=100000;
state st[N*2];
int sz,last;

void sa_init(){
  st[0].len=0;
  st[0].link=-1;
  sz++;
  last=0;
}

void sa_extend(char c){
  int act=sz++;
  st[act].len=st[last].len+1;
  int p=last;
  while(p!=-1 && !st[p].next.count(c)){
    st[p].next[c]=act;
    p=st[p].link;
  }
  if(p==-1){
    st[act].link=0;
  }else{
    int q=st[p].next[c];
    if(st[p].len+1==st[q].len){
      st[act].link=q;
    }else{
      int clone=sz++;
      st[clone].len=st[p].len+1;
      st[clone].next=st[q].next;
      st[clone].link=st[q].link;
      while(p!=-1 && st[p].next[c]==q){
        st[p].next[c]=clone;
        p=st[p].link;
      }
      st[q].link=st[act].link=clone;
    }
  }
  last=act;
}
```

7.14 Suffix Automata Forma 2

```
// O(n) construccion, O(n) memoria
struct SuffixAutomaton {
  int last;
  vi len,link,firstPos;
  vl cnt;
  vector<array<int,2>> order;
  vector<array<int, ALPHA>> nxt;
  SuffixAutomaton():last(0),len(1),link(1,-1),firstPos(1)
     ,cnt(1),nxt(1){}
  SuffixAutomaton(const string &s):SuffixAutomaton(){
    for (char c:s)
      extend(c);
  }

  int getIndex(char c){
    return c-MIN_CHAR;
  }

  void extend(char c)  {
    int act=sz(len), i=getIndex(c),p=last;
    len.push_back(len[last]+1);
    link.emplace_back();
    cnt.push_back(1);
    firstPos.emplace_back(len[last]+1);
    order.push_back({len[act],act});
    nxt.emplace_back();
    while(p != -1 && !nxt[p][i]){
      nxt[p][i]=act;
      p=link[p];
    }
    if(p!=-1){
      int q=nxt[p][i];
      if(len[p]+1==len[q]){
        link[act]=q;
      }else{
        int clone=sz(len);
        len.push_back(len[p]+1);
        link.push_back(link[q]);
        firstPos.push_back(firstPos[q]);
        cnt.push_back(0);
        order.push_back({len[clone],clone});
        nxt.push_back(nxt[q]);
        while(p!=-1 && nxt[p][i]==q){
          nxt[p][i]=clone;
          p=link[p];
        }
        link[q]=link[act]=clone;
      }
    }
    last=act;
  }
};
```

```
int main() {
SuffixAutomaton sa(string);
return 0;
}
```

7.15 Longest Common Subsequence

```
const int nMax = 1005;
int dp[nMax][nMax];
// Longest Common Subsequence O(n*m) (devuelve el tamano)
int lcs(const string &s, const string &t){
  int n=len(s),m=len(t);
  for(int i=1;i<=n;i++){
    for(int j=1;j<=m;j++){
      dp[i][j]=max(dp[i-1][j],dp[i][j-1]);
      if(s[i-1]==t[j-1])dp[i][j]=max(dp[i][j], dp[i-1][j
          -1] + 1);
    }
  }
  return dp[n][m];
}

// Devuelve la subsecuencia O(s*t)
string lcs_str(const string &s, const string &t){
  int n=len(s),m=len(t);
  for(int i=1;i<=n;++i){
    for(int j=1;j<=m;++j){
      if(s[i-1]==t[j-1])dp[i][j]=dp[i-1][j-1]+1;
      else dp[i][j]=max(dp[i-1][j],dp[i][j-1]);
    }
  }
  int i=n,j=m;
  string res="";
  while(i>0 && j>0) {
      if(s[i - 1]==t[j-1]){
        res=s[i-1]+res;i--;j--;
      }else if(dp[i-1][j]>dp[i][j-1])i--;
      else j--;
  }
  return res;
}
```

7.16 Longest Common Substring

```
// Implementar primero suffix-automata-forma-1
// Retorna la subcadena comun mas larga entre S y T O(S+T
   )
string lcs(string S,string T){
  sa_init();
  for(int i=0;i<sz(S);i++)sa_extend(S[i]);
  int v=0,l=0,best=0,bestpos=0;
  for (int i=0;i<sz(T);i++){
    while(v && !st[v].next.count(T[i])){
      v=st[v].link;
      l=st[v].len;
    }
    if(st[v].next.count(T[i])){
      v=st[v].next[T[i]];
      l++;
    }
    if(l>best){
      best=l;
      bestpos=i;
    }
  }
  return T.substr(bestpos-best+1,best);
}
```

7.17 Lyndon Factorization

```
// La factorizacion de Lyndon de un string es una lista
    de strings no vacios
// tal que el string original es la concatenacion de los
    strings de la lista
// en orden lexicografico. Ademas, cada string de la
    lista es un string de
// Lyndon, es decir, es un string que es
    lexicograficamente menor que todos
// sus sufijos no triviales. Por ejemplo "ab"<"ba".
    Tambien los strings estan
// ordenados de mayor a menor.

// El algoritmo de Duval encuentra la factorizacion de
    Lyndon de un string en O(n)
vs duval(string const& s) {
  int n=len(s),i=0;
  vs factorization;
  while(i<n){
    int j=i+1,k=i;
    while(j<n && s[k]<=s[j]){
      if(s[k]<s[j])k=i;
      else k++;
      j++;
    }
    while(i<=k){
      factorization.push_back(s.substr(i, j-k));
      i+=j-k;
    }
  }
  return factorization;
}
int main() {
string s="aabaaab";
vs factorization=duval(s);
```

```
  for(string& factor:factorization)cout<<factor<<"\n";
}
```

7.18 Cantidad Substring por len

```
// Implementar primero suffix-array-forma-2 y meter la
   funcion dentro
// O(n)
void numeroSubstringsPorTamano(){
  vl ps(n+1);
  for(int i=1;i<n;i++){
    int l=lcp[i-1]+1;
    int r=n-1-pos[i];
    ps[l]++;
    ps[r+1]--;
  }
  for(int i=1;i<n;i++) {
    ps[i]+=ps[i-1];
  }
  for(int i=1;i<n;i++) {
    cout<<ps[i]<<" ";
  }
}
```

7.19 Cantidad Substrings

```
// Implementar primero suffix-array-forma-1
int different_substrings(string s) { //O(nlogn)
  vi sa=suffix_array(s);
  vi lcp=lcp_construction(s,sa);
  int n=len(s);
  int act=n*(n+1);act/=2;
  for(int i=0;i<n-1;i++)act-=lcp[i];
  return act;
}

// Otra forma con hashing O(n^2)
int count_unique_substrings(string const& s) {
  int n = s.size();
  // Ojo con p y m
  const int p=31;
  const int m=1e9+9;
  ll p_pow[n], h[n+1];
  p_pow[0]=1;
  // Precalculo de potencias de p
  for(int i=1;i<n;i++)p_pow[i]=(p_pow[i-1]*p)%m;
  // Precalculo de hashes de prefijos de s
  for(int i=0;i<n;i++)h[i+1]=(h[i]+(s[i]-'a'+1)*p_pow[i])
     %m;
  int cnt=0;
  for(int l=1;l<=n;l++) {
    unordered_set<ll> hs;
    for(int i=0;i<=n-l;i++) {
      ll cur_h=(h[i+l]+m-h[i])%m;
      cur_h=(cur_h*p_pow[n-i-1])%m;
      hs.insert(cur_h);
    }
    cnt+=hs.size();
  }
  return cnt;
}
```

7.20 Kth-Substring con repeticiones

```
// Implementar primero suffix-automata-forma-2 y meter la
   funcion dentro
// El k-esimo substring lexicografico con repeticiones O(
  n+m)
void kthSubstr(ll k){
  sort(order.rbegin(), order.rend());
  for(auto [_,u]:order) {
    cnt[link[u]]+=cnt[u];
  }
  vl dp(last+1);
  function<void(int)>dfs=[&](int u){
    dp[u]=cnt[u];
    for(int i=0;i<26;i++){
      if(!nxt[u][i])continue;
      int v=nxt[u][i];
      if (!dp[v])dfs(v);
      dp[u]+=dp[v];
    }
  };
  dfs(0);
  int u=0;
  while(k>0){
    for(int i=0;i<26;i++) {
      if(!nxt[u][i])continue;
      int v=nxt[u][i];
      if(k>dp[v]) {
        k-=dp[v];
      }else{
        cout<<(char)('a' + i);
        k-=cnt[v];
        u=v;
        break;
      }
    }
  }
}
```

7.21 Kth-substring sin repeticiones

```cpp
// Implementar primero suffix-array-forma-2 y meter la
   funcion dentro
// El k-esimo substring lexicografico sin repeticiones O(
   n)
  string kthSubstr(ll k){
    for(int i=1;i<n;i++){
      int nxt=n-1-pos[i]-lcp[i-1];
      if(k>nxt){
        k-=nxt;
      }else{
        return s.substr(pos[i], k + lcp[i-1]);
      }
    }
  }
```

7.22 Primera aparicion patrones

```cpp
// Implementar primero suffix-automata-forma-2 y meter la
    funcion dentro
// La primera aparicion de t en s O(t)
int firstMatching(const string &t) {
  int act=0;
  for(char c:t){
    int cc=c-'a';
    if(!nxt[act][cc])return -1;
    act=nxt[act][cc];
  }
  return firstPos[act]-sz(t)+1;
}
```

7.23 Repetitions

```cpp
// implementar primero z_function
// El algoritmo encuentra todas las repeticiones de un
   string O(nlogn)
int get_z(vi const& z, int i) {
  if (0<=i && i<sz(z))return z[i];
  else return 0;
}

vii repetitions;
void convert_to_repetitions(int shift, bool left, int
   cntr, int l, int k1, int k2){
  for(int l1=max(1,l-k2);l1<=min(l,k1);l1++) {
    if(left && l1==l)break;
    int l2=l-l1;
    int pos=shift+(left?cntr-l1:cntr-l-l1+1);
    repetitions.emplace_back(pos,pos+2*l-1);
  }
}

void find_repetitions(string s, int shift=0){
  int n=len(s);
  if(n==1)return;
  int nu=n/2;
  int nv=n-nu;
  string u=s.substr(0,nu);
  string v=s.substr(nu);
  string ru(u.rbegin(), u.rend());
  string rv(v.rbegin(), v.rend());
  find_repetitions(u, shift);
  find_repetitions(v, shift+nu);
  vi z1=z_function(ru);
  vi z2=z_function(v+'#'+u);
  vi z3=z_function(ru+'#'+rv);
  vi z4=z_function(v);
  for (int cntr=0;cntr<n;cntr++) {
    int l, k1, k2;
    if(cntr<nu) {
      l=nu-cntr;
      k1=get_z(z1, nu-cntr);
      k2=get_z(z2, nv+1+cntr);
    }else{
      l=cntr-nu+1;
      k1=get_z(z3,nu+1+nv-1-(cntr-nu));
      k2=get_z(z4,(cntr-nu)+1);
    }
    if(k1+k2>=l)convert_to_repetitions(shift, cntr<nu,
       cntr, l, k1, k2);
  }
}

int main() {
find_repetitions(string);
for(auto& rep:repetitions)cout<<rep.first<<" "<<rep.
   second<<"\n";
}
```

7.24 Substring mas largo repetido

```cpp
// Implementar primero suffix-array-forma-1
string longest_repeated_substring(string& s){ //O(nlogn)
  // Si se tienen que sacar varios, entonces son todos
     los que sean iguales al maximo
  vi sa=suffix_array(s);
  vi lcp=lcp_construction(s,sa);
  int n=len(s);
  int max_len=0, start=0;
  for(int i=0;i<n-1;i++){
    if(lcp[i]>max_len){
      max_len=lcp[i];
      start=sa[i];
    }
  }
  return s.substr(start,max_len);
```

```
}
```

8 Geometria

8.1 Puntos

```
// Punto entero
struct point{
    ll x,y;
    point(ll x,ll y): x(x),y(y){}
};

// Punto flotante
struct point{
    double x,y;
    point(double _x,double _y): x(_x),y(_y){}
    bool operator == (point other) const{
        return (fabs(x-other.x)<EPS) && (fabs(y-other.y)<
            EPS);
    };
};

// Distancia entre dos puntos
double dist(point p1, point p2){
    return sqrt((p1.x-p2.x)*(p1.x-p2.x)+(p1.y-p2.y)*(p1.y
        -p2.y));
}

// Rotacion de un punto
point rotate(point p, double theta){
    // rotar por theta grados respecto al origen (0,0
    double rad = theta*(M_PI/180);
    return point(p.x*cos(rad)-p.y*sin(rad),p.x*sin(rad)+p
        .y*cos(rad));
}
```

8.2 Lineas

```
// Linea de flotantes de la forma ax+by+c=0
struct line{double a,b,c;};

// Creacion de linea con dos puntos
// b=1 para lineas no verticales y b =0 para verticales
void pointsToLine(point p1,point p2,line& l){
    if (fabs(p1.x-p2.x)<EPS){
        l.a=1.0; l.b=0.0; l.c=-p1.x;
    }else{
        l.a= -double(p1.y-p2.y)/(p1.x-p2.x);
        l.b= 1.0;
        l.c= -double(l.a*p1.x)-p1.y;
    }
}

// Comprobacion de lineas paralelas
bool areParallel(line l1,line l2){
    return (fabs(l1.a-l2.a)<EPS) && (fabs(l1.b-l2.b)<EPS)
        ;
}

// Comprobacion de lineas iguales
bool areSame(line l1,line l2){
    return areParallel(l1,l2) && (fabs(l1.c-l2.c)<EPS);
}

// Disntacia de un punto a una linea
double distPointToLineaEq(line l, point p){
    return fabs(l.a*p.x + l.b*p.y + l.c)/sqrt(l.a*l.a+l.b
        *l.b);
}

bool areIntersect(line l1, line l2, point& p){
    if (areParallel(l1,l2)) return false;
    // resolver sistema 2x2
    p.x = (l2.b*l1.c - l1.b*l2.c)/(l2.a*l1.b - l1.a*l2.b)
        ;

    // CS: comprobar linea vertical -> div por cero
    if (fabs(l1.b)>EPS) p.y = -(l1.a*p.x + l1.c);
    else p.y = -(l2.a*p.x + l2.c);

    return true;
}
```

8.3 Vectores

```
// Creacion de un vector
struct vec{
    double x,y;
    vec(double x,double y): x(x),y(y){}
};

// Puntos a vector
vec toVec(point a,point b){
    return vec(b.x-a.x , b.y-a.y);
}

// Escalar un vector
vec scale(vec v, double s){
    // s no negatico:
    // <1 mas corto
    // 1 igual
    // >1 mas largo
    return vec(v.x*s,v.y*s);
}

// Trasladar p segun v
point traslate(point p, vec v){
    return point(p.x+v.x , p.y+v.y);
}

// Producto Punto
```

```
double dot(vec a,vec b){
    return (a.x*b.x + a.y*b.y);
}

// Cuadrado de la norma
double norm_sq(vec v){
    return v.x*v.x + v.y*v.y;
}

// Angulo formado por aob
double angle(point a, point o, point b){
    vec oa = toVec(o,a);
    vec ob = toVec(o,b);
    return acos(dot(oa,ob)/sqrt(norm_sq(oa)*norm_sq(ob)))
        ;
}

// Producto cruz
double cross(vec a, vec b){
    return (a.x*b.y)-(a.y*b.x);
}

// Lado respecto una linea pq
bool ccw(point p,point q,point r){
    // Devuelve verdadero si el punto r esta a la
        izquierda de la linea pq
    return cross(toVec(p,q),toVec(p,r))>0;
}

// Colinear
bool collinear(point p, point q, point r){
    return fabs(cross(toVec(p,q), toVec(p,r)))<EPS;
}
```

8.4 Poligonos

```
// Crear un poligono
// la idea es crearlo con algun orden ya sea horario o
    anti-horario
// y debe cerrarse
vector<point> Poligono;

// Perimetro de un poligono
double perimeter(const vector<point>& P){
    double result =0.0;
    for (int i =0;i<(int)P.size()-1;i++)result+= dist(P[i
        ],P[i+1]);
    return result;
}

// Area de un poligono
double area(const vector<point>& P){
    // la mitad del determinante
    double result = 0.0, x1,y1,x2,y2;
    for (int i =0;i<(int)P.size()-1;i++){
        x1 = P[i].x;
        x2 = P[i+1].x;
        y1 = P[i].y;
        y2 = P[i+1].y;
        result += (x1*y2 - x2*y1);
    }
    return fabs(result/2.0);
}

// Comprobacion de si es Convexto un poligono
bool isConvex(const vector<point>& P){
    int sz = (int)P.size();
    if (sz<=3) return false;
    bool isLeft = ccw(P[0],P[1],P[2]);
    for (int i =1;i<sz-1;i++)
        if (ccw(P[i],P[i+1],P[(i+2)==sz ? 1:i+2])!=isLeft
            )
            return false;
    return true;
}

// Comprobar si un punto esta dentro de un poligono
bool inPoligono(point pt, const vector<point>& P){
    // P puede ser concavo/convexo
    if ((int)P.size()==0) return false;
    double sum =0;
    for (int i =0;i<(int)P.size()-1;i++){
        if (ccw(pt,P[i],P[i+1]))
            sum += angle(P[i],pt,P[i+1]); // izquierda/
                anti-horario
        else sum -= angle(P[i],pt,P[i+1]);// derecha/
            horario
    }
    return fabs(fabs(sum)-2*M_PI)<EPS;
}
```

8.5 Convex Hull

```
struct pt{
    double x,y;
    pt(double x,double y): x(x),y(y){}
};

int orientation(pt a, pt b, pt c) {
    double v = a.x*(b.y-c.y)+b.x*(c.y-a.y)+c.x*(a.y-b.y);
    if (v < 0) return -1; // horario
    if (v > 0) return +1; // anti-horario
    return 0;
}

bool cw(pt a, pt b, pt c, bool include_collinear) {
    int o = orientation(a, b, c);
    return o < 0 || (include_collinear && o == 0);
}
bool collinear(pt a, pt b, pt c) { return orientation(a,
    b, c) == 0; }
```

```
void convex_hull(vector<pt>& a, bool include_collinear = false) {
    pt p0 = *min_element(a.begin(), a.end(), [](pt a, pt b) {
        return make_pair(a.y, a.x) < make_pair(b.y, b.x);
    });
    sort(a.begin(), a.end(), [&p0](const pt& a, const pt& b) {
        int o = orientation(p0, a, b);
        if (o == 0)
            return (p0.x-a.x)*(p0.x-a.x) + (p0.y-a.y)*(p0.y-a.y)
                < (p0.x-b.x)*(p0.x-b.x) + (p0.y-b.y)*(p0.y-b.y);
        return o < 0;
    });
    if (include_collinear) {
        int i = (int)a.size()-1;
        while (i >= 0 && collinear(p0, a[i], a.back())) i--;
        reverse(a.begin()+i+1, a.end());
    }

    vector<pt> st;
    for (int i = 0; i < (int)a.size(); i++) {
        while (st.size() > 1 && !cw(st[st.size()-2], st.back(), a[i], include_collinear))
            st.pop_back();
        st.push_back(a[i]);
    }

    a = st;
}

int main() {
    ios::sync_with_stdio(false);
    cin.tie(0);

    ll n; cin>>n;

    vector<pt> Puntos;
    for (int i =0;i<n;i++){
        double x,y;cin>>x>>y;
        pt punto(x,y);
        Puntos.push_back(punto);
    }
    convex_hull(Puntos,true);
    cout<<Puntos.size()<<ln;
    for (pt punto:Puntos){
        cout<<(ll)punto.x<<" "<<(ll)punto.y<<ln;
    }
}
```

9 Teoría y miscelánea

9.1 Sumatorias

- $\sum_{i=1}^{n} i^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$
- $\sum_{i=1}^{n} i^3 = \left(\frac{n(n+1)}{2}\right)^2$
- $\sum_{i=1}^{n} i^4 = \frac{n(n+1)(2n+1)(3n^2+3n-1)}{30}$
- $\sum_{i=1}^{n} i^5 = \frac{(n(n+1))^2(2n^2+2n-1)}{12}$
- $\sum_{i=0}^{n} x^i = \frac{x^{n+1}-1}{x-1}$ para $x \neq 1$

9.2 Teoría de Grafos

9.2.1 Teorema de Euler

En un grafo conectado planar, se cumple que $V - E + F = 2$, donde V es el número de vértices, E es el número de aristas y F es el número de caras.

9.2.2 Planaridad de Grafos

Un grafo es planar si y solo si no contiene un subgrafo homeomorfo a K_5 (grafo completo con 5 vértices) ni a $K_{3,3}$ (grafo bipartito completo con 3 vértices en cada conjunto).

9.3 Teoría de Números

9.3.1 Ecuaciones Diofánticas Lineales

Una ecuación diofántica lineal es una ecuación en la que se buscan soluciones enteras x e y que satisfagan la relación lineal $ax+by = c$, donde a, b y c son constantes dadas.

Para encontrar soluciones enteras positivas en una ecuación diofántica lineal, podemos seguir el siguiente proceso:

1. Encontrar una solución particular: Encuentra una solución particular (x_0, y_0) de la ecuación. Esto puede hacerse utilizando el algoritmo de Euclides extendido.

2. Encontrar la solución general: Una vez que tengas una solución particular, puedes obtener la solución general utilizando la fórmula:

$$x = x_0 + \frac{b}{\text{mcd}(a,b)} \cdot t$$

$$y = y_0 - \frac{a}{\text{mcd}(a,b)} \cdot t$$

donde t es un parámetro entero.

3. Restringir a soluciones positivas: Si deseas soluciones positivas, asegúrate de que las soluciones generales satisfagan $x \geq 0$ y $y \geq 0$. Puedes ajustar el valor de t para cumplir con estas restricciones.

9.3.2 Pequeño Teorema de Fermat

Si p es un número primo y a es un entero no divisible por p, entonces $a^{p-1} \equiv 1 \pmod p$.

9.3.3 Teorema de Euler

Para cualquier número entero positivo n y un entero a coprimo con n, se cumple que $a^{\phi(n)} \equiv 1 \pmod n$, donde $\phi(n)$ es la función phi de Euler, que representa la cantidad de enteros positivos menores que n y coprimos con n.

9.4 Teorema de Pick

Sea un poligono simple cuyos vertices tienen coordenadas enteras. Si B es el numero de puntos enteros en el borde, I el numero de puntos enteros en el interior del poligono, entonces el area A del poligono se puede calcular con la formula:

$$A = I + \frac{B}{2} - 1$$

9.5 Combinatoria

9.5.1 Permutaciones

El número de permutaciones de n objetos distintos tomados de a r a la vez (sin repetición) se denota como $P(n, r)$ y se calcula mediante:

$$P(n, r) = \frac{n!}{(n-r)!}$$

9.5.2 Combinaciones

El número de combinaciones de n objetos distintos tomados de a r a la vez (sin repetición) se denota como $C(n, r)$ o $\binom{n}{r}$ y se calcula mediante:

$$C(n, r) = \binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!}$$

9.5.3 Permutaciones con Repetición

El número de permutaciones de n objetos tomando en cuenta repeticiones se denota como $P_{\text{rep}}(n; n_1, n_2, \ldots, n_k)$ y se calcula mediante:

$$P_{\text{rep}}(n; n_1, n_2, \ldots, n_k) = \frac{n!}{n_1! n_2! \cdots n_k!}$$

9.5.4 Combinaciones con Repetición

El número de combinaciones de n objetos tomando en cuenta repeticiones se denota como $C_{\text{rep}}(n; n_1, n_2, \ldots, n_k)$ y se calcula mediante:

$$C_{\text{rep}}(n; n_1, n_2, \ldots, n_k) = \binom{n+k-1}{n} = \binom{n+k-1}{k-1}$$

9.5.5 Números de Catalan

$$C_n = \frac{1}{n+1}\binom{2n}{n}$$

Los números de Catalan también pueden calcularse utilizando la siguiente fórmula recursiva:

$$C_0 = 1$$

$$C_{n+1} = \frac{4n+2}{n+2} C_n$$

Usos:

- $\mathrm{Cat}(n)$ cuenta el número de árboles binarios distintos con n vértices.
- $\mathrm{Cat}(n)$ cuenta el número de expresiones que contienen n pares de paréntesis correctamente emparejados.
- $\mathrm{Cat}(n)$ cuenta el número de formas diferentes en que se pueden colocar $n+1$ factores entre paréntesis, por ejemplo, para $n = 3$ y $3 + 1 = 4$ factores: a, b, c, d, tenemos: $(ab)(cd), a(b(cd)), ((ab)c)d$ y $a((bc)d)$.
- Los números de Catalan cuentan la cantidad de caminos no cruzados en una rejilla n x n que se pueden trazar desde una esquina de un cuadrado o rectángulo a la esquina opuesta, moviéndose solo hacia arriba y hacia la derecha.
- Los números de Catalan representan el número de árboles binarios completos con $n + 1$ hojas.
- $\mathrm{Cat}(n)$ cuenta el número de formas en que se puede triangular un poligono convexo de $n + 2$ lados. Otra forma de decirlo es como la cantidad de formas de dividir un polígono convexo en triángulos utilizando diagonales no cruzadas.