Notebook UNosnovatos

Contents

1 C++

1.1 C++ plantilla

```cpp
#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;
#define watch(x) cout<<#x<<"="<<x<<'\n'
#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)

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)

// n es el tamanio de la mask (Alternativa)
// ll n = 64;
// for (ll subset = 0; subset < (1<<n); ++subset){

// 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
```

1.4 Cosas de strings

```cpp
// Funcion para convertir un caracter a un entero
int conv(char ch) {
  return ((ch >= 'a' && ch <= 'z') ? ch-'a' : ch-'A'+26);
}

string s="abc";
cout<<s.substr(1)<<"\n";
cout<<s.substr(0,1)<<"\n";

// El primer parametro es la posicion inicial
s.insert(3, "def");
cout<<s<<"\n";
// El primer parametro es la posicion y el segundo es la
    cantidad de caracteres a borrar
s.erase(3,3);
cout<<s<<"\n";
// El primer parametro es la posicion y el segundo es la
    cantidad de caracteres a reemplazar
s.replace(0,2,"def");
cout<<s<<"\n";

for(char& c:s){
  c=toupper(c);
}
cout<<s<<"\n";

for(char& c:s){
  c=tolower(c);
}
cout<<s<<"\n";

// De string a entero
s="123";int n;
istringstream(s)>>n;
cout<<n<<"\n";

// De entero a string
n=456;
ostringstream os;
os<<n;
```

```
    s=os.str();
    cout<<s<<"\n";
```

2 Estructuras de Datos

2.1 Disjoint Set Union

```
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

```
#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);
    }
};
```

2.4 Persistent ST

```
const ll nullVal = 0;

ll oper(ll n1, ll n2){
    return n1 + n2;
}

struct Vertex {
    Vertex *l, *r;
    ll val;

    Vertex(ll num) : l(nullptr), r(nullptr), val(num) {}
    Vertex(Vertex *l, Vertex *r) : l(l), r(r), val(
        nullVal) {
        if (l) val = oper(val, l->val);
        if (r) val = oper(val, r->val);
    }
};

struct perST{
    ll n;
    // rts es donde guardamos las roots nuevas creadas
    vector<Vertex*> rts;

    // Creacion de la root inicial y asignacion de
    // tamano de la base de PerST
    perST(vl& a): n(a.size()) {
        rts.pb(build(a, 0, n - 1));
    }

    // build del ST (funciona igual que uno normal solo
       que con punteros)
    Vertex* build(vl& a, ll tl, ll tr) {
        if (tl == tr)
            return new Vertex(a[tl]);
        ll tm = (tl + tr) >> 1;
        return new Vertex(build(a, tl, tm), build(a, tm
            +1, tr));
    }

    // get del ST (funciona igual que uno normal)
    // el valor de tl y tr sirven para saber en que rango
        nos encontramos
    ll get(Vertex* v, ll tl, ll tr, ll l, ll r) {
        if (l > r)
            return nullVal;
        if (l == tl && tr == r)
            return v-> val;
        ll tm = (tl + tr) >> 1;
        return oper(get(v->l, tl, tm, l, min(r, tm)),
                    get(v->r, tm+1, tr, max(l, tm+1), r))
                    ;
    }

    // el upd del perST recorre el arbol reciclando nodos
        que
    // quedan igual y creando nuevos para los cuales
       cambia.
    // Retorna el vertice root del nuevo ST
    Vertex* upd(Vertex* v, ll tl, ll tr, ll pos, ll
        newVal) {
        if (tl == tr)
```

```
            return new Vertex(newVal);
        ll tm = (tl + tr) >> 1;
        if (pos <= tm)
            return new Vertex(upd(v->l, tl, tm, pos,
                newVal), v->r);
        else
            return new Vertex(v->l, upd(v->r, tm+1, tr,
                pos, newVal));
    }

    // simplificaciones de upd y get
    // el valor de k es igual a la version en la cual
    // trabajaremos
    Vertex* upd(ll k, ll pos, ll newVal){
        return upd(rts[k], 0, n - 1, pos, newVal);
    }

    ll get(ll k, ll a, ll b){
        return get(rts[k], 0, n - 1, a, b);
    }
};
```

2.5 Distinct Values Queries

```
// insertar Persistent ST de sumas

int main() {
    ll n, k; cin >> n >> k;
    vl vals(n, 0);
    forx(i, n) cin >> vals[i];

    // creacion del perST
    vl basSt(n, 0);
    perST vers(basSt);

    // Cada ST estara guardando si el i-esimo elemento es
       una
    // ultima ocurrencia y la idea es crear una nueva
       version
    // por cada actualizacion de este dato
    map<ll, ll> lastOcur;
    for(int i = 1; i <= n; i++){
        if (!lastOcur[vals[i - 1]]){
            vers.rts.pb(vers.upd(i - 1, i - 1, 1));
            lastOcur[vals[i - 1]] = i;
        }else{
            vers.rts.pb(vers.upd(i - 1, i - 1, 1));
            vers.rts[i] = vers.upd(i, lastOcur[vals[i -
                1]] - 1, 0);
            lastOcur[vals[i - 1]] = i;
        }
    }

    // Para hacer la consulta de la cantidad de
    // distintos en un rango basta con hacer una
    // tipica consulta pero en la version de b
    while(k--){
        ll a, b; cin >> a >> b;
        a--; b--;
        cout << vers.get(b + 1, a, b) << ln;
    }
}
```

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 Bin Packing

```
int main() {
    ll n, capacidad;
    cin >> n >> capacidad;
    vl pesos(n, 0);
    forx(i, n) cin >> pesos[i];

    vector<pll> dp((1 << n));
    dp[0] = {1, 0};
    // dp[X] = {#numero de paquetes, peso de min paquete}

    // La idea es probar todos los subset y en cada uno
       preguntarnos
```

```
        // quien es mejor para subirse de ultimo buscando
            minimizar
        // primero el numero de paquetes
        for (int subset = 1; subset < (1 << n); subset++) {
            dp[subset] = {21, 0};

            for (int iPer = 0; iPer < n; iPer++) {
                if ((subset >> iPer) & 1) {
                    pll ant = dp[subset ^ (1 << iPer)];
                    ll k = ant.ff;
                    ll w = ant.ss;

                    if (w + pesos[iPer] > capacidad) {
                        k++;
                        w = min(pesos[iPer], w);
                    } else {
                        w += pesos[iPer];
                    }

                    dp[subset] = min(dp[subset], {k, w});
                }
            }
        }

        cout << dp[(1 << n) - 1].ff << ln;
    }
```

3.3 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_MIN;
    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);
            }
        }
```

```
        }
    }
```

3.4 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;
}
```

3.5 Edit Distances

```
int editDistances(string& wor1,string& wor2){
    // O(tam1*tam2)
    // minimo de letras que debemos insertar, elminar o
        reemplazar
```

```
    // de wor1 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];
}
```

3.6 Divide Conquer

```
int m, n;
vector<long long> dp_before(n), dp_cur(n);

long long C(int i, int j);

// compute dp_cur[l], ... dp_cur[r] (inclusive)
void compute(int l, int r, int optl, int optr) {
    if (l > r)
        return;

    int mid = (l + r) >> 1;
    pair<long long, int> best = {LLONG_MAX, -1};

    for (int k = optl; k <= min(mid, optr); k++) {
        best = min(best, {(k ? dp_before[k - 1] : 0) + C(
            k, mid), k});
    }

    dp_cur[mid] = best.first;
    int opt = best.second;

    compute(l, mid - 1, optl, opt);
    compute(mid + 1, r, opt, optr);
}

int solve() {
    for (int i = 0; i < n; i++)
        dp_before[i] = C(0, i);

    for (int i = 1; i < m; i++) {
        compute(0, n - 1, 0, n - 1);
        dp_before = dp_cur;
    }

    return dp_before[n - 1];
}
```

3.7 Knuth

```
#Condiciones
#C(b,c)<=C(a,d)
#C(a,c)+C(b,d)<=C(a,d)+C(b,c)
int solve() {
    int N;
    ... // read N and input
    int dp[N][N], opt[N][N];

    auto C = [&](int i, int j) {
        ... // Implement cost function C.
    };

    for (int i = 0; i < N; i++) {
        opt[i][i] = i;
        ... // Initialize dp[i][i] according to the
            problem
    }

    for (int i = N-2; i >= 0; i--) {
        for (int j = i+1; j < N; j++) {
            int mn = INT_MAX;
            int cost = C(i, j);
            for (int k = opt[i][j-1]; k <= min(j-1, opt[i
                +1][j]); k++) {
                if (mn >= dp[i][k] + dp[k+1][j] + cost) {
                    opt[i][j] = k;
                    mn = dp[i][k] + dp[k+1][j] + cost;
                }
            }
            dp[i][j] = mn;
        }
    }

    cout << dp[0][N-1] << endl;
}
```

4 Grafos

4.1 Puentes

```
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);
    }
}
```

4.2 Puntos de Articulacion

```
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);
    }
}
```

4.3 Puntos de articulacion y puentes (dirigidos)

```
//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);
}
```

4.4 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());
```

4.5 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)
    }
}
```

4.6 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', '.');
}
```

4.7 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);
}
```

4.8 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;
}
```

4.9 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;
}
```

4.10 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]);
            }
        }
    }
}
```

4.11 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;
}
```

4.12 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;
}
```

4.13 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;
    }
```

4.14 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;
    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

```
//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 Metodos numericos

7.1 Ternary Search

```
double f(double x){
  return x*x;
}

// O(log((r-l)/eps))
double ternary_search(double l, double r) {
  double eps=1e-9; // precision
  while(r-l>eps) {
```

```
    double m1=l+(r-l)/3;
    double m2=r-(r-l)/3;
    if (f(m1)<f(m2))l=m1;
    else r=m2;
  }return max(f(l),f(r)); // El maximo de la funcion en
     el intervalo [l,r]
}
```

7.2 Regla de Simpson

```
double f(double x){
  return x*x;
}

const int N = 1000 * 1000; // number of steps (already
   multiplied by 2)
double simpson_integration(double a, double b){
  double h=(b-a)/N;
  double s=f(a)+f(b);
  for (int i=1;i<=N-1;i++){
    double x=a+h*i;
    s+=f(x)*((i & 1)?4:2);
  }
  s*=h/3;
  return s;
}
```

8 Strings

8.1 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;
}
```

8.2 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;
}
```

8.3 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];
		}
	}
```

8.4 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;
}
```

8.5 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
```

```cpp
// 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;
}
```

8.6 Manacher

```cpp
//  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";
}
```

8.7 Minimal-Rotation

```cpp
// 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);
}
```

8.8 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;
}
```

8.9 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]];
```

```
      }
    }
  }
```

8.10 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]<<" ";
}
```

8.11 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";
}
}
```

8.12 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;
}
```

8.13 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;
}
```

8.14 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;
}
```

8.15 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);
}
```

8.16 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";
}
```

8.17 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]<<" ";
  }
}
```

8.18 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;
}
```

8.19 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;
      }
    }
  }
}
```

8.20 Kth-substring sin repeticiones

```
// 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]);
      }
    }
  }
```

8.21 Primera aparicion patrones

```
// 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;
}
```

8.22 Repetitions

```
// 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";
}
```

8.23 Substring mas largo repetido

```
// 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);
}
```

9 Geometria

9.1 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));
}
```

9.2 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;
}
```

9.3 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;
}
```

9.4 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;
}
```

9.5 Convex Hull

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

// Devuelve hacia donde esta un punto c, respecto una
    linea ab
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; // en la derecha
    if (v > 0) return +1; // en la izquierda
    return 0; // colinear
}

// imprime verdadero el punto c, esta a la derecha de la
    linea pb,
// tambien da true si son cololineales e
    include_collinear == true
bool cw(pt a, pt b, pt c, bool include_collinear) {
    int o = orientation(a, b, c);
    return o < 0 || (include_collinear && o == 0);
}

// nos dice si tres puntos son colineales
bool collinear(pt a, pt b, pt c) { return orientation(a,
    b, c) == 0; }
```

```cpp
void convex_hull(vector<pt>& a, bool include_collinear = false) {
    // Obtenemos el pivote como el menor punto con un criterio dado
    // (menor y o si no menor x)
    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);
    });

    // Ordenamos los puntos en un orden horario, los elementos colineales terminan
    // siendo arrastrados al final y si existe empate en el angulo sera el que este mas cerca
    // del pivote
    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;
    });

    // Busca donde empiezan los colineales (estan al final) e invierte su orden
    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());
    }

    // Aplicacion de graham
    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;
}
```

10 Teoría y miscelánea

10.1 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 $x \neq 1$

10.2 Teoría de Grafos

10.2.1 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.

10.2.2 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).

10.3 Teoría de Números

10.3.1 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:

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

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

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.

10.3.2 Pequeño Teorema de Fermat

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

10.3.3 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.

10.4 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:

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

10.5 Combinatoria

10.5.1 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:

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

10.5.2 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:

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

10.5.3 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:

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

10.5.4 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:

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

10.5.5 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:

- $\text{Cat}(n)$ cuenta el número de árboles binarios distintos con n vértices.
- $\text{Cat}(n)$ cuenta el número de expresiones que contienen n pares de paréntesis correctamente emparejados.
- $\text{Cat}(n)$ 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.
- $\text{Cat}(n)$ 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.

10.6 DP Optimization Theory

Name	Original Recurrence	Sufficient Condition	From	To
CH 1	$dp[i] = min_{j<i}\{dp[j] + b[j] * a[i]\}$	$b[j] \geq b[j+1]$ Optionally $a[i] \leq a[i+1]$	$O(n^2)$	$O(n)$
CH 2	$dp[i][j] = min_{k<j}\{dp[i-1][k] + b[k] * a[j]\}$	$b[k] \geq b[k+1]$ Optionally $a[j] \leq a[j+1]$	$O(kn^2)$	$O(kn)$
D&Q	$dp[i][j] = min_{k<j}\{dp[i-1][k] + C[k][j]\}$	$A[i][j] \leq A[i][j+1]$	$O(kn^2)$	$O(kn \log n)$
Knuth	$dp[i][j] = min_{i<k<j}\{dp[i][k] + dp[k][j]\} + C[i][j]$	$A[i, j-1] \leq A[i, j] \leq A[i+1, j]$	$O(n^3)$	$O(n^2)$

Notes:

- $A[i][j]$ - the smallest k that gives the optimal answer, for example in $dp[i][j] = dp[i-1][k] + C[k][j]$
- $C[i][j]$ - some given cost function
- We can generalize a bit in the following way $dp[i] = \min_{j<i}\{F[j] + b[j] * a[i]\}$, where $F[j]$ is computed from $dp[j]$ in constant time