Estructuras de Datos y Algoritmos

Implementación de TAD

Lección 3

Universidad Zaragoza

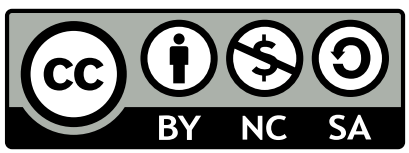
Dpto. de Informática e Ingeniería de Sistemas
Universidad de Zaragoza, España

Curso 2024/2025

Grado en Ingeniería Informática

Universidad de Zaragoza

Aula 0.04, Edificio Agustín de Betancourt



Adaptadas de diapositivas de Javier Campos

Índice

Universidad Zaragoza

Índice

Universidad Zaragoza

Implementación de un TAD

De la especificación a la implementación

- Aquí **usaremos Programación Modular** (pseudocódigo y C++)
- Otras opciones (*asignaturas posteriores*): programación orientada a objetos (C++, Java, etc.)

Implementación de un TAD

Qué es y características

- **Determinar una representación** para los valores del tipo
- **Implementar sus operaciones**, a partir de esa representación

Implementación de un TAD

Qué es y características

- **Determinar una representación** para los valores del tipo
- **Implementar sus operaciones**, a partir de esa representación

Características

- **Estructurada** (facilita el desarrollo)
- **Eficiente** (optimiza el uso de recursos: tiempo, espacio)
- **Legible** (facilita su modificación y mantenimiento)
- **Segura y robusta** (programación defensiva)
- **Correcta, verificable y fácil de usar**
- Garantiza la **encapsulación**:
  - Privacidad de la representación
  - Protección del tipo

Universidad Zaragoza

Implementación de un TAD

- **Lenguaje de programación abstracto (pseudocódigo) para implementación de TADs**
  - Bajo el paradigma de programación modular
  - Resumen de la sintaxis en el material de la asignatura

Pasos en la implementación de TAD

1. **Definir lo que aparecerá en la parte pública (o *interfaz*) del módulo**
   - Identificadores válidos
   - Perfiles (o cabeceras) de cada operación
     - Parámetros de entrada, salida, entrada-salida
     - Comunicación de situaciones de error

   Nota: *Este primer paso es requisito previo para distribuir el trabajo de programación en equipo*

Universidad Zaragoza

Implementación de un TAD

Pasos en la implementación de TAD

2 Decidir la representación del tipo de datos a definir

- Basándose en tipos básicos predefinidos, tipos estructurados básicos (vectores, registros), y/u otros tipos definidos previamente → **representación interna** concreta
- Ha de permitir la **implementación de las operaciones definidas de forma eficiente** (en tiempo y espacio)
- Ha de **permanecer oculta**
  - Restringir el uso del tipo a operaciones definidas en la interfaz
  - Aporta **encapsulación** (aporta privacidad y protección)

Universidad Zaragoza

Implementación de un TAD

Pasos en la implementación de TAD

2. **Decidir la representación del tipo de datos a definir**
   - Basándose en tipos básicos predefinidos, tipos estructurados básicos (vectores, registros), y/u otros tipos definidos previamente → **representación interna** concreta
   - Ha de permitir la **implementación de las operaciones definidas de forma eficiente** (en tiempo y espacio)
   - Ha de **permanecer oculta**
     - Restringir el uso del tipo a operaciones definidas en la interfaz
     - Aporta **encapsulación** (aporta privacidad y protección)
3. **Implementar cada operación de la interfaz**, así como las operaciones auxiliares que sean de interés/utilidad
   - Según la representación interna definida
   - Las operaciones de la interfaz serán accesibles para los usuarios del TAD
   - El resto de operaciones sólo serán accesibles en la implementación del TAD

Universidad Zaragoza 1542

Implementación de un TAD

Guía para paso de especificación a implementación

- Las operaciones 0-arias (constantes)
  - Se implementarán como **constantes** o como **procedimientos o funciones sin parámetros**
- Las demás operaciones, como **procedimientos o funciones**
  - Varias operaciones con el mismo dominio y distinto rango podrán implementarse como un procedimiento que devuelva varios resultados
    - Especialmente si se van a usar a menudo de forma conjunta
    - Importante si de esa forma el coste de obtener los resultados se reduce
- **En las operaciones con situaciones de error** (parciales):
  - **Añadir mecanismos de protección frente a errores** dependientes del lenguaje de programación a utilizar
  - Opciones:
    - Manejo de excepciones: identificar o definir excepciones a utilizar
    - Parámetros de salida de error en cada operación

Universidad Zaragoza

Índice

Universidad Zaragoza

Implementación en pseudocódigo

Operaciones: procedimientos y funciones

- **Encapsulan un bloque de acciones (código) reutilizable**
- **Mejora la legibilidad** de los programas
- *Implementación de una operación como ¿procedimiento o función?*
  - Sólo hay un dato resultado a devolver → **procedimiento o función**
  - Hay 0, 2, o más resultados a devolver → **procedimiento**

Universidad Zaragoza

Implementación en pseudocódigo

Operaciones: procedimientos y funciones

Procedimientos

```
{Un procedimiento es una acción o instrucción virtual, que una vez definido se puede
utilizar como otra instrucción más.
Un procedimiento puede definirse con 0 o más parámetros, cada uno de ellos podrá ser de:
    - Entrada (ent): dato que el procedimiento recibe para ser utilizado en sus acciones
    - Salida (sal): dato que el procedimiento comunica como resultado de sus acciones
    - Entrada y Salida (e/s): dato que el procedimiento recibe para ser
    utilizado en sus acciones y cuyo valor actualizado comunica como
    resultado de sus acciones. }
procedimiento <nombre>(ent <parámetros_1>:<tipo_1>;
                       sal <parámetros_2>:<tipo_2>;
                       e/s <parámetros_3>:<tipo_3> ...)
{declaraciones locales de constantes, tipos de datos, variables, ... }
principio
    <secuencia de acciones>
fin
```

Implementación en pseudocódigo

Operaciones: procedimientos y funciones

Funciones

```
{Una función es un valor virtual, es decir, se puede utilizar dentro de una expresión y
el resultado es un valor. Puede tener 0 o más parámetros, todos son de entrada, y sólo
puede devolver un resultado.}
función <nombre>(<parám_1>:<tipo_1>; <parám_2>:<tipo_2> ...) devuelve <tipo_fun>
{declaraciones locales de constantes, tipos de datos, variables, ...}
principio
    <secuencia de acciones>
    devuelve <valor_de_tipo_fun>
    {tras devolver el valor, la función termina}
fin
```

Implementación en pseudocódigo

Uso de procedimientos y funciones

Uso de procedimientos

```
contador := 0;
nombre(2.5, valorMedio, contador, ...);
escribir(valorMedio); escribir(contador); ...
```

Uso de funciones

```
cálculo := 23.5 + nombre(2.7, x, y)
```

Implementación en pseudocódigo

Procedimientos y funciones

Decisiones de implementación sobre los resultados

- **Actualización de uno de los parámetros del dominio**
  - Parámetro del dominio y resultado será un único parámetro (e/s)
  - Sólo posible con procedimientos (**las funciones sólo tienen parámetros de entrada**)
  - Con esto se evita:
    - Ocupar nueva memoria para los datos resultado
    - Tiempo de copiar todo lo que no resulta modificado
  - Creación de nuevas copias separadas de los datos (valor previo y posterior a la modificación) si se combina su uso con una operación *copiar* (o *duplicar*)
- **Copia distinta en memoria del parámetro del dominio**
  - El parámetro del dominio será de entrada y el resultado será de salida (o el valor devuelto por una función)
  - Se ocupa memoria adicional (independiente) para valor y resultado
  - Sustitución del valor original (en memoria) si se combina su uso con una operación *copiar* (o *duplicar*)

Universidad Zaragoza

Implementación en pseudocódigo

Ejemplo: especificación no formal del TAD fecha

```
espec fechas
    usa enteros, booleanos
    género fecha
    {(Descripción del TAD:) Los valores del TAD fechas representan
        fechas válidas según las reglas del calendario gregoriano}
    operaciones
        parcial crear: entero d, entero m, entero a -> fecha
        {Dados los tres valores enteros, se obtiene una fecha compuesta
             con los tres valores dados usados como día, mes y año
            respectivamente.
        Parcial: 1 ≤ d ≤ 31, 1 ≤ m ≤ 12, 1582 ≤ a y además deben formar
             una fecha válida según el calendario gregoriano.}

        día: fecha f -> entero
        {Dada una fecha f, se obtiene el entero que corresponde al día
            en la fecha f}

        mes: fecha f -> entero
        {Dada una fecha f, se obtiene el entero que corresponde al mes
            en la fecha f}

        año: fecha f -> entero
        {Dada una fecha f, se obtiene el entero que corresponde al año
            en la fecha f}
...
```

Implementación en pseudocódigo

Ejemplo: especificación no formal del TAD fecha

```
...
        iguales: fecha f1 , fecha f2 -> booleano
        {Dadas dos fechas f1 y f2, se obtiene un booleano con valor
            verdad si y solo si la fecha f1 es igual que la fecha f2,
            es decir, corresponden al mismo día, mes y año.}

        anterior: fecha f1 , fecha f2 -> booleano
        {Dadas dos fechas f1 y f2, se obtiene un booleano con valor
            verdad si y solo si la fecha f1 es cronológicamente
            anterior a la fecha f2.}

        posterior: fecha f1 , fecha f2 -> booleano
        {Dadas dos fechas f1 y f2, se obtiene un booleano con valor
            verdad si y solo si la fecha f1 es cronológicamente
            posterior a la fecha f2.}
fespec
```

Implementación en pseudocódigo

Ejemplo: implementación de la especificación fechas

- Lo que el módulo exporta constituye la parte visible o *interfaz*
- La implementación queda oculta, no es visible desde el exterior

```
módulo fechas
exporta
    tipo fecha {Aquí se incluye la descripción de los valores del TAD}
    procedimiento crear(ent d, m, a: entero; sal f: fecha; sal error: booleano)
    {aquí me faltarían todas las especificaciones de cada operación ...}
    función día(f: fecha) devuelve entero
    función mes(f: fecha) devuelve entero
    función año(f: fecha) devuelve entero
    función iguales(f1, f2: fecha) devuelve booleano
    función anterior(f1, f2: fecha) devuelve booleano
    función posterior(f1, f2: fecha) devuelve booleano
implementación
    tipo fecha = registro
                    eldía, elmes, elaño: entero
                 freg
...
```

Tratamiento de caso de error (operación parcial)

Tratamiento de caso de error (operación parcial)

```
...
    procedimiento crear(ent d, m, a: entero; sal f: fecha; sal error: booleano)
    principio
        si d < 1 or d > 31 or m < 1 or m > 12 or a < 1582 or
            (d=31 and (m=2 or m=4 or m=6 or m=9 or m=11)) or (m=2 and d=30) entonces
            {1582=año del inicio de la adopción del calendario gregoriano}
            error := verdad
        sino
            si m=2 and d=29 and ((a mod 4/=0) or
                (a mod 4=0 and a mod 100=0 and a mod 400/=0))  entonces
                    error := verdad
            sino
                f.eldía := d; f.elmes := m; f.elaño := a; error := falso
            fsi
        fsi
    fin

    función día(f: fecha) devuelve entero
    principio
            devuelve f.eldía
    fin

    función mes(f: fecha) devuelve entero
    principio
            devuelve f.elmes
    fin

    función año(f: fecha) devuelve entero
    principio
            devuelve f.elaño
    fin
...
```

```
...
    función iguales(f1, f2: fecha) devuelve booleano
    principio
        { devuelve f1=f2 }
        devuelve ((f1.elaño = f2.elaño) and (f1.elmes = f2.elmes)
                    and (f1.eldia = f2.eldia))
    fin

    función anterior(f1, f2: fecha) devuelve booleano
    principio
        devuelve (f1.elaño < f2.elaño) or
            ((f1.elaño = f2.elaño) and (f1.elmes < f2.elmes)) or
            ((f1.elaño = f2.elaño) and (f1.elmes = f2.elmes)
                and (f1.eldia < f2.eldia))
    fin

    función posterior(f1, f2: fecha) devuelve booleano
    principio
            devuelve not (iguales(f1, f2) or anterior(f1, f2))
    fin

fin { módulo fechas }
```

Implementación en pseudocódigo

Relación entre especificación e implementación

- Dada una especificación de TAD, hay **muchas implementaciones** válidas
- Cambios de implementación **transparentes** a los programas que lo usan

Universidad Zaragoza

Implementación en pseudocódigo

Basura y confusión

Una implementación es una interpretación de la especificación

- Ha de mantener las propiedades del TAD, **sin introducir *basura* ni *confusión* en la representación elegida** (si es posible)
  - Son representables más valores de los especificados (llamados *basura*)
  - Varios de los valores especificados tienen una misma representación (*confusión*)
- **Si no es posible, han de estar documentadas** para que quien use la implementación del TAD sepa exactamente qué se le está ofreciendo

Universidad Zaragoza

Implementación en pseudocódigo

Basura y confusión

- **Ejemplos de basura y confusión para el TAD fechas**:
  - **Basura**: que un dato fecha pueda tomar valores de fechas no válidas
    - Ejemplos: 31-2-2011, 2-15-2011, ...
  - **Confusión**: que varios valores válidos se representen exactamente igual y por tanto sean indistinguible
    - Ejemplos: ¿qué fecha es 31-1-20? ¿31-1-1920? ¿31-1-2020?

Implementación en pseudocódigo

Basura y confusión

- **Ejemplos de basura y confusión para el TAD fechas**:
  - **Basura**: que un dato fecha pueda tomar valores de fechas no válidas
    - Ejemplos: 31-2-2011, 2-15-2011, ...
  - **Confusión**: que varios valores válidos se representen exactamente igual y por tanto sean indistinguible
    - Ejemplos: ¿qué fecha es 31-1-20? ¿31-1-1920? ¿31-1-2020?
- **Ejemplos de limitaciones**:
  - Rango no infinito de valores posibles (ejemplo típico: números enteros)
  - Capacidad de almacenamiento limitada por la cantidad de memoria disponible en el ordenador o por la capacidad máxima de la estructura de memoria utilizada en la implementación (ejemplo: implementación que limita el tamaño del TAD tabla)

Universidad Zaragoza

Implementación en pseudocódigo

Especificación no formal del TAD tabla

```
espec tablas
    usa naturales, enteros {supondremos que el 0 está en los naturales}
    género tabla
    {((DESCRIPCION:)
    Los valores del TAD tablas de frecuencia representan colecciones de
         números enteros tales que:
        - no se almacenan enteros repetidos, pero si se registra cuá
            ntas veces se ha introducido cada entero (su frecuencia)
        - las operaciones permiten obtener la información de un entero
            o su frecuencia
según su puesto en el orden decreciente por valores de frecuencia}

    operaciones
        inicializar: -> tabla
        {Devuelve una tabla vacía, es decir, que no contiene datos para
             ningún número entero}

        añadir: tabla t, entero e -> tabla
        {Si e no está t, devuelve la tabla resultante de añadir e a t
            con número de apariciones igual a 1; si e está en t,
            devuelve la tabla resultante de incrementar en 1 el número
            de apariciones de e (su frecuencia) en t}
...
```

```
...
        total: tabla t -> natural
        {Devuelve el número total de enteros para los que t contiene
            información}

        parcial infoEnt: tabla t , natural n -> entero
        {Devuelve el entero que corresponde al n-ésimo entero en t según
            n el orden en número de apariciones decreciente.
        Parcial: la operación no está definida si n=0 OR n>total(t)}

        parcial infoFrec: tabla t , natural n -> natural
        {Devuelve el natural que corresponde al número de apariciones
            del n-ésimo entero en la tabla t según el orden en número
            de apariciones decreciente.
        Parcial: la operación no está definida si n=0 OR n>total(t)}

fespec
```

Implementación en pseudocódigo

```
módulo tablas
exporta
    tipo tabla
    {tabla de frecuencias de enteros (etc) Implementación limitada a
    tablas con un tamaño máximo de 1000 números enteros distintos. }

    procedimiento inicializar(sal t: tabla)
    {Crea una tabla vacía t de frecuencias}

    procedimiento añadir(e/s t: tabla; ent n: entero; sal error: booleano)
    {Modifica t incrementando en 1 la frecuencia de n.
    La implementación limita a 1000 el nº de datos distintos, por tanto,
    si n no cabe en la tabla, devuelve error=verdad. }

    función total(t: tabla) devuelve natural
    {Devuelve el nº de enteros distintos en la tabla t.}

    procedimiento info(ent t: tabla; ent i: entero; sal n: entero;
                                  sal frec: natural; sal error: booleano)
    {Devuelve en n el entero que ocupa el i-ésimo lugar en la tabla t,
    en orden de frecuencias decrecientes, y frec es su frecuencia.
    (Error:) Si no existe el entero i-ésimo, devuelve 0 en n y en frec,
    y error=verdad.}
implementación
    ...
fin
```

Tratamiento de caso de error (operación parcial)

Tratamiento de caso de error (operación parcial)

[ver módulo completo en el material de clase]

Universidad Zaragoza

Implementación en pseudocódigo

Ejemplo de uso del módulo tablas

```
procedimiento estadística
    {Lee una secuencia de enteros de un fichero y escribe en pantalla cada entero
    distinto leído junto con su frecuencia de aparición, en orden de frecuencias
    decrecientes. Si la tabla se llena se muestra un error. }
importa tablas, cadenas, ficheros
variables
    f: fichero de entero;
    nombre: cadena;
    t: tabla;
    dato: entero;
    orden, frec: natural;
    error: booleano := falso;
principio
    escribir("Nombre del fichero: "); leer(nombre);
    asociar(f, nombre); iniciarlectura(f);
    ...
```

```
    ...
    inicializar(t);
    mientrasQue not finFichero(f) and not error hacer
        leer(f, dato);
        añadir(t, dato, error)
    fmq;
    disociar(f);

    si error entonces
            escribir("Error por saturación de la capacidad de la tabla utilizada.")
    sino
        para orden:=1 hasta total(t) hacer
            info(t, orden, dato, frec, error);
            escribir("entero: ", dato, " frecuencia: ", frec)
        fpara
    fsi
fin
```

Índice

Universidad Zaragoza

Implementación en C++

- Para el TAD, usaremos registros (`struct`)
- Sobre la representación:
  - **Privada** (`private`)
  - Las operaciones del TAD **para acceder a la representación serán funciones amigas** (`friend`)
- Operaciones de tipo procedimientos: **funciones `void`**
- Operaciones de tipo funciones: **funciones que devuelvan un dato**
- **Parámetros de entrada**:
  - Parámetros de entrada (por valor) (útiles si ocupan poca memoria)
  - Parámetros constantes por referencia (útiles si ocupan mucha memoria)
- **Parámetros de salida o de entrada/salida**:
  - Parámetros por referencia

Universidad Zaragoza

Implementación en C++

Ejemplo de fechas: archivo de cabecera («fecha.hpp»)

```
#ifndef _FECHA_HPP
#define _FECHA_HPP

// Interfaz del TAD fecha. Pre-declaraciones:

/* Los valores del TAD fecha representan fechas válidas
 * según las reglas del calendario gregoriano (adoptado en 1582) */
struct Fecha;

/* Dados los tres valores enteros dia, mes y anyo, se devuelve en f
 * la fecha compuesta por ellos.
 * Parcial: se precisa que 1<=dia<=31, 1<=mes<=12, 1582<=anyo, y además
 * que dia, mes y anyo formen una fecha válida según el calendario
 * gregoriano; de lo contrario, error devuelve el valor verdad */
void crear(int dia, int mes, int anyo, Fecha& f, bool& error);

/* Devuelve el dia de la fecha */
int dia(const Fecha& f);

/* Devuelve el mes de la fecha */
int mes(const Fecha& f);

/* Devuelve el año de la fecha */
int anyo(const Fecha& f);

/* Devuelve verdad si y sólo si f1 y f2 son la misma fecha */
bool iguales(const Fecha& f1, const Fecha& f2);

/* Devuelve verdad si y sólo si la fecha f1 es cronológicamente
 * anterior a la fecha f2 */
bool anterior(const Fecha& f1, const Fecha& f2);

/* Devuelve verdad si y sólo si la fecha f1 es cronológicamente
 * posterior a la fecha f2 */
bool posterior(const Fecha& f1, const Fecha& f2);
...
```

Tratamiento de caso de error (operación parcial)

```
...
// Declaración

struct Fecha {
     friend void crear(int dia, int mes, int anyo, Fecha& f, bool& error);
     friend int dia(const Fecha& f);
     friend int mes(const Fecha& f);
     friend int anyo(const Fecha& f);
     friend bool iguales(const Fecha& f1, const Fecha& f2);
     friend bool anterior(const Fecha& f1, const Fecha& f2);
     friend bool posterior(const Fecha& f1, const Fecha& f2);

     private:
     // Representación de los valores del TAD.
        int elDia;
        int elMes;
        int elAnyo;
};

#endif
```

private aporta encapsulación

Implementación en C++

Ejemplo de fechas: archivo de implementación («fecha.cpp»)

```
#include "fecha.hpp"

// Implementación de las operaciones del TAD fecha.

    // Operaciones auxiliares sobre enteros.

    // Devuelve verdad si y sólo si el año a es bisiesto.
    bool esBisiesto(int a) {
            return ((a % 4 == 0 && a % 100 != 0) || a % 400 == 0);
    }

    // Devuelve verdad si y solo si (d,m,a) representan una fecha válida.
    bool esFechaValida(int d, int m, int a) {
        ...
    }

    // Operaciones del TAD

    void crear(int dia, int mes, int anyo, Fecha& f, bool& error) {
        ...
    }
...
```

[ver implementación completa en el material de clase]

Universidad Zaragoza

```
int dia(const Fecha& f) {
        return f.elDia;
}

int mes(const Fecha& f) {
    return f.elMes;
}

int anyo(const Fecha& f) {
        return f.elAnyo;
}

bool iguales(const Fecha& f1, const Fecha& f2) {
        return f1.elDia == f2.elDia && f1.elMes == f2.elMes
                    && f1.elAnyo == f2.elAnyo;
}

bool anterior(const Fecha& f1, const Fecha& f2) {
   ...
}

bool posterior(const Fecha& f1, const Fecha& f2) {
   ...
}
```

[ver implementación completa en el material de clase]

Universidad Zaragoza

Implementación en C++

Ejemplo de tablas: archivo de cabecera («tabla_frec.hpp»)

```
#ifndef _TABLA_FREC_HPP
#define _TABLA_FREC_HPP

// Constantes y tipos previos

const int MAX_NUM_DATOS = 1000;


// Interfaz del TAD tabla de frecuencias. Pre-declaraciones:

struct Tabla;
void inicializar(Tabla& t);
bool anyadir(Tabla& t, int n);
int total(const Tabla&  t);
int infoEnt(const Tabla&  t, int n);
int infoFrec(const Tabla&  t, int n);
...
```

Falta incluir el tratamiento de caso de error

```
void info(const Tabla& t, int n, int& entero, int& frec, bool& error);
```

```
// Declaración

struct Tabla {
    friend void inicializar(Tabla& t);
    friend bool anyadir(Tabla& t, int n);
    friend int total(const Tabla& t);
    friend int infoEnt(const Tabla& t, int n);
    friend int infoFrec(const Tabla& t, int n);


private:
    // Representación interna de los valores del TAD

    struct Frecuencia {
        int numero;
        int frec;
    };

    Frecuencia elementos [MAX_NUM_DATOS];
    int numElementos;

};

#endif
```

Implementación en C++

Ejemplo de tablas: archivo de implementación («tabla_frec.cpp»)

```
#include "tabla_frec.hpp"

void inicializar(Tabla& t){
    t.numElementos = 0;
}

bool anyadir(Tabla& t, int n){
    ...
}

int total(const Tabla& t) {
    ...
}

int infoEnt(const Tabla& t, int n) {
    ...
}

int infoFrec(const Tabla& t, int n) {
    ...
}
```

[ver implementación completa en el material de clase]

Universidad Zaragoza

Trabajo encargado

Leer lección 3 de los apuntes y las implementaciones que hay en la Web

Estructuras de Datos y Algoritmos

Implementación de TAD

Lección 3

Universidad Zaragoza

1542

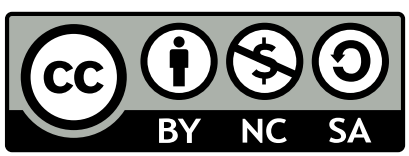
Dpto. de Informática e Ingeniería de Sistemas
Universidad de Zaragoza, España

Curso 2024/2025

Grado en Ingeniería Informática

Universidad de Zaragoza

Aula 0.04, Edificio Agustín de Betancourt



Adaptadas de diapositivas de Javier Campos