Introducción a Fortran95

Diego Rosales

Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos.

IFLYSIB
CONICET
UNLP

Departamento de Ciencias Básicas, Fac. de Ingeniería, UNLP

FACULTAD DE INGENIERÍA | UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Herramientas **C**omputacionales para **C**ientíficas/os
Curso 2024

¿Qué es Fortran?

Fortran, acrónimo de FORmula TRANslation, es uno de los lenguajes de programación más antiguos y aún en uso. Desarrollado originalmente por IBM en la década de 1950, fue diseñado específicamente para cálculos científicos y de ingeniería. Su nombre refleja su propósito principal: **traducir fórmulas matemáticas en instrucciones comprensibles para una computadora**.

Fuente: `https://en.wikipedia.org/wiki/Fortran`

¿Por qué Fortran?

- **Cálculos numéricos:** Es un lenguaje de programación de elección para realizar cálculos numéricos complejos (ejemplos: de física, la ingeniería, la meteorología y la finanzas).
- **Optimización:** Los programas pueden optimizarse para ejecutarse en computadoras de alto rendimiento. El lenguaje es adecuado para producir código donde el rendimiento es importante.
- **Legado:** Muchas aplicaciones científicas y de ingeniería de gran escala aún están escritas en Fortran: gran cantidad de código existente que debe ser mantenido y actualizado.
- **Paralelismo:** Fortran ha evolucionado para soportar cómputo en paralelo.

Fuente: `https://en.wikipedia.org/wiki/Fortran`

Lenguaje compilado

Un COMPILADOR traduce el código fuente a código máquina, creando un archivo EJECUTABLE. Este archivo puede ejecutarse directamente en la máquina sin la necesidad del código fuente original.

Ventajas de los lenguajes compilados:

- **Velocidad:** El código máquina es ejecutado directamente por el hardware.
- **Eficiencia:** Los compiladores pueden realizar optimizaciones en el código.
- **Independencia:** Una vez compilado, el programa puede ejecutarse en cualquier máquina que tenga el entorno de ejecución adecuado.
- **Seguridad:** Los errores de compilación suelen ser detectados antes de la ejecución.

Lenguaje compilado

Desventajas de los lenguajes compilados:

- **Proceso de desarrollo más lento:** Cada cambio en el código requiere una nueva compilación, lo que puede ralentizar el desarrollo.
- **Dependencia de la plataforma:** En algunos casos, un programa compilado para una plataforma (por ejemplo, Windows) puede no ejecutarse en otra (por ejemplo, Linux).
- **Mayor tamaño de los archivos:** Los archivos ejecutables suelen ser más grandes que el código fuente original.

[Lenguaje interpretado: son aquellos que se ejecutan directamente, sin ser traducidos previamente a código máquina. Suelen ser más lentos, ya que el código fuente debe ser interpretado por el software del intérprete pero más fáciles de aprender y utilizar. Ejemplos: Python, JavaScript, PHP, R.]

Características de Fortran95

Fortran 95 representa una actualización significativa del lenguaje, introduciendo características modernas como:

Fortalezas de Fortran

- **Programación estructurada:** Permitiendo una mejor organización y legibilidad del código.
- **Arreglos:** Facilitando el manejo de grandes conjuntos de datos.
- **Módulos:** Promoviendo la reutilización de código.
- **Objetos:** Introduciendo conceptos de programación orientada a objetos.

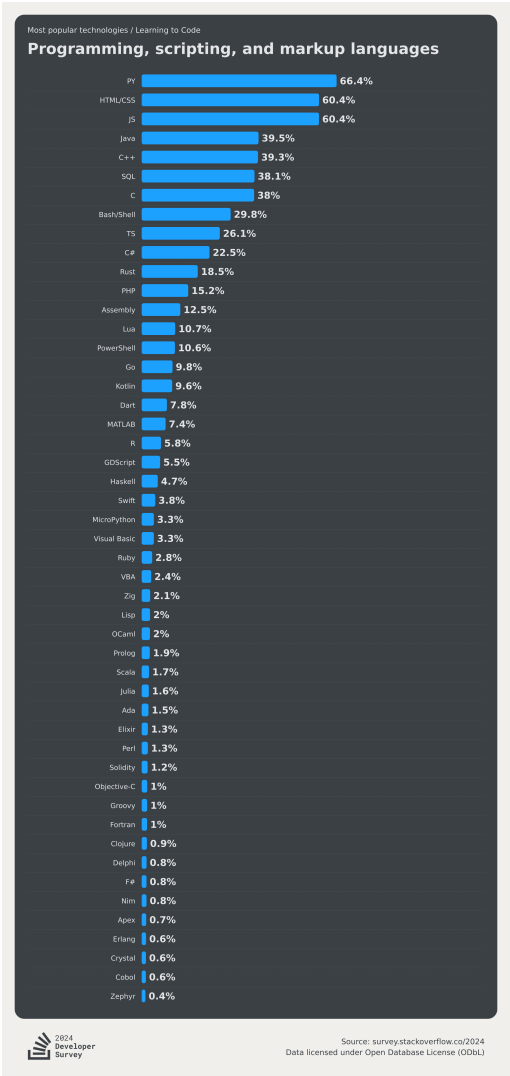
Fortalezas de Fortran

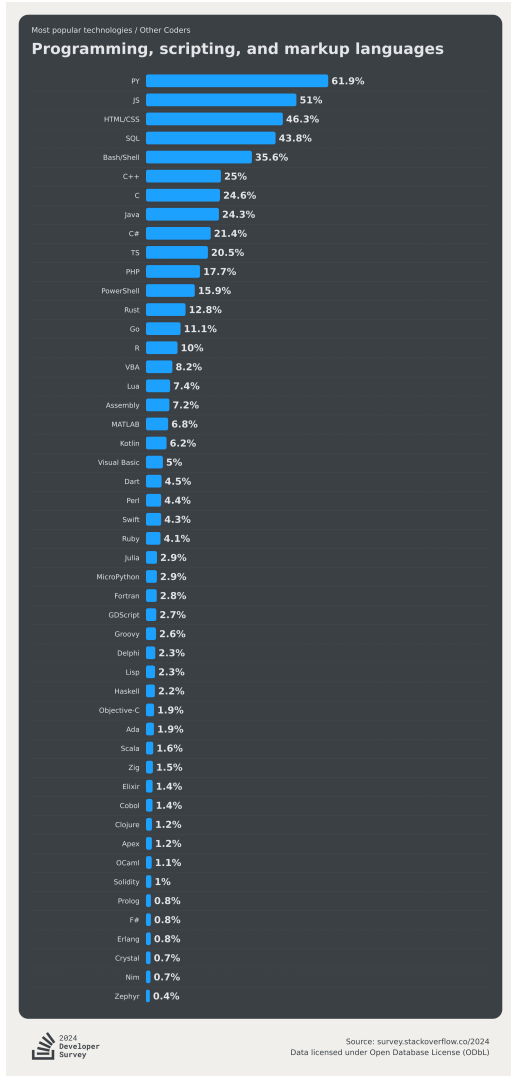
- **Rendimiento:** Excelencia en cálculos numéricos y optimización de código.
- **Gran comunidad:** Una comunidad de usuarios activa y una amplia base de conocimientos.
- **Bibliotecas:** Disponibilidad de numerosas bibliotecas científicas y de ingeniería.

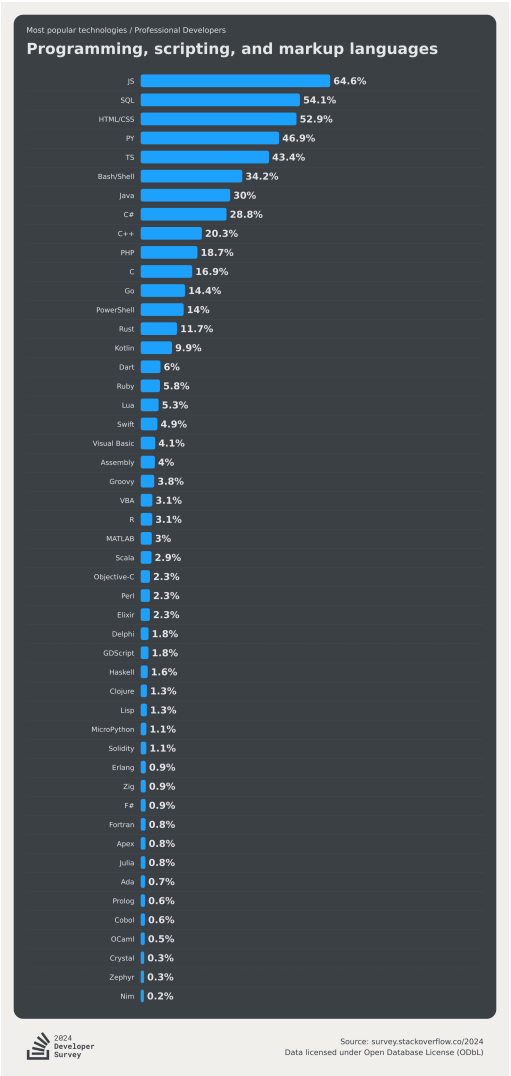
Fortalezas de Fortran

- **Sintaxis:** Puede parecer anticuada en comparación con lenguajes más modernos.
- **Curva de aprendizaje:** Puede ser más desafiante para principiantes que no estén familiarizados con la programación estructurada.
- **Menos popular:** Ha perdido popularidad en comparación con otros lenguajes como C++ y Python, lo que puede limitar la disponibilidad de herramientas y recursos.

Stackoverflow: 2024 survey







Fuente: `https://survey.stackoverflow.co/2024/`

Tipos de programas en Fortran

- Programa fuente (ejemplo.f95): Es el programa que editamos y que contiene las instrucciones del lenguaje FORTRAN. Para su edición, utilizaremos cualquier editor de texto.

$$\Downarrow \text{ Compilación } \Downarrow$$

- Programa objeto: Se traduce el programa al programa equivalente escrito en lenguaje de máquina. A ese proceso se lo llama compilar y al traductor se lo conoce como compilador.

$$\Downarrow \quad \text{Linkado} \quad \Downarrow$$

- Programa ejecutable (algunnombre.out): enlazar (link en inglés) el código objeto producido en el primer anteriormente, eventualmente con otros códigos que se encuentran en archivos biblioteca.

Software que vamos a (o podemos) usar:

- Compilador GNU Fortran o Intel Fortran
- Editores de texto plano: nano, emacs, vi, pico,...
- Para windows: GNU Mingw-w64
  `https://www.mingw-w64.org/`
- Graficos:
  1. Gnuplot (free, portable)
  2. Octave (free, similar a Matlab)

Instalando Fortran

GFortran es el compilador Fortran del proyecto GNU (`https://gcc.gnu.org/wiki/GFortran`).

Pasos básicos para instalar GFortran en Windows y Linux

WINDOWS

- `http://www.equation.com` ejecutables en 32 and 64-bit x86 para GCC.
- TDM GCC, ejecutables en 32 and 64-bit x86 para GCC.
- MinGW-w64 ejecutables en 64-bit x86 para GCC.

LINUX

- `sudo add-apt-repository ppa:ubuntu-toolchain-r/test`
- `sudo apt update`
- `sudo apt install gfortran-10`

Escribiendo y compilando código

Opciones

- Linux: Editor de texto plano (kwrite,nano) + Terminal


- Linux y Windows: Visual Studio Code
  `https://code.visualstudio.com/`

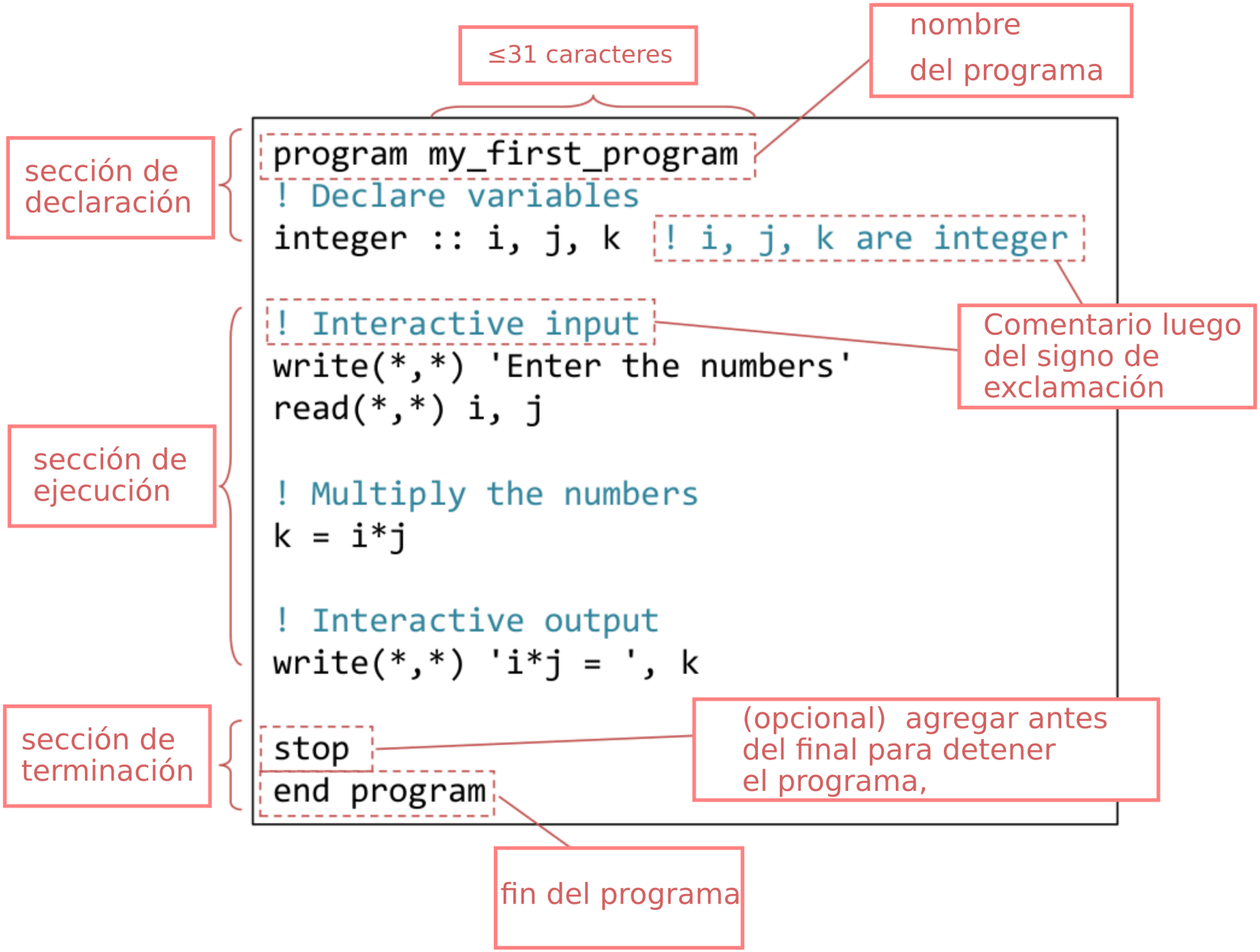
Contenido del curso

Temas a cubrir en el curso

- **Sintaxis básica:** Variables, tipos de datos, operadores, expresiones.
- **Estructura de control:** Sentencias condicionales, bucles.
- **Subprogramas:** Funciones y subrutinas.
- **Arreglos:** Declaración, manipulación y operaciones.
- **Entrada y salida:** Lectura y escritura de datos.
- **Módulos:** Organización y reutilización de código.
- **Programación orientada a objetos:** Introducción a los conceptos básicos. Herencia. Polimorfismo. Diseño Orientado a Objetos.
- **Breve idea de técnicas de paralelización en Fortran:** OpenMP, MPI, Co-arrays.

https://github.com/hdrosales/Curso-Introductorio-Fortran

Ejemplo de un programa en Fortran:Ejemplo0



Elementos básicos de un programa en FORTRAN

Un programa en FORTRAN tiene los siguientes elementos básicos:

- Nombre del programa. El nombre del programa es en realidad opcional, pero es muy buena idea tenerlo.
- Declaraciones de variables utilizadas en el programa.
- Cuerpo del programa. Comandos a ejecutar en el código. Los comandos se ejecutan en orden de aparición. El programa siempre debe terminar con el comando END PROGRAM.
- Subprogramas. El cuerpo del programa puede llamar a subprogramas que realicen tareas específicas. Es buena práctica de programación separar un programa en bloques y poner cada bloque en diferentes subprogramas.

Elementos básicos de un programa en FORTRAN

La estructura de un comando en FORTRAN 90 tiene las siguientes propiedades:

- Los comandos se escriben en lineas de no más de 132 caracteres.
- Espacios en blanco al principio de una linea se ignoran. Esto ayuda a mejorar visualmente la estructura del programa.
- Un signo & al final de una linea indica que el comando continua en la linea siguiente.
- Todo lo que siga de un signo ! se considera un comentario y es ignorado por el compilador.
- Importante: FORTRAN no distingue entre mayúsculas y minúsculas en un programa, también ignora más de un espacio en blanco y lineas en blanco.

Compilando nuestro primer programa Fortran

```
program prueba
    ! imprime un mensaje
    write (*,*) 'Hola, hoy es viernes 1 de septiembre&
                    chann!!!'
end program prueba
```

- guardar en archivo de texto `01-print_hola.f95`
- compilar `[home]$ gfortran 01-print_hola.f95 -o sasa`
- ejecutar `[home]$ ./sasa`

PARTE 1

Objetivo de la parte 1:

Escribir un programa en Fortran 90/95 y adquirir conocimientos en la invocación y aplicación de operaciones fundamentales.

Ejercicio propuesto: Leer dos archivos de datos con varias filas y columnas (dos matrices), hacer una operación entre filas y columnas (multiplicarlas) y determinar si el resultado es un archivo (matriz) con todos sus elementos positivos.

¿Qué necesitamos saber para poder resolver el problema?

I Leer matrices →	• E/S, Memoria
II Multiplicar →	• Operaciones, Memoria, Repeticiones
III Imprimir resultado →	• E/S
IV ¿Positivos? →	• Decisiones

Ejercicios extras: cubren los conceptos básicos de E/S, variables, operaciones y decisiones

1b Leer un archivo de texto y contar el número total de palabras que contiene. Luego, imprimir el resultado en la pantalla.

1c Escriba un programa que lea un número y determine si es un número primo.

1d Escriba un programa que lea una lista de 10 números y los ordene en orden ascendente.

1e Leer un archivo que contiene una lista de números. Encontrar y mostrar el número más grande en la lista.

CONSTANTES Y VARIABLES

Constantes y variables

Los programas en FORTRAN manejan datos de dos tipos: constantes y variables.

Tipos de datos básicos

- Strings: `character :: 'sarasa', 'pepino'`
- Números enteros: `integer :: name1=3, name2=-55`
- Números reales: `real :: r1=3.0, r99=-23.01`
- Complejos: `complex :: pop=(1.5,2.0)`
- Lógicos: `logical :: visita=.true., canaste=.false.`
- Arreglos de cualquiera de los tipos anteriores.
  Ejemplo: `real :: AA=(/1.2,-2.35,4.59/)`
- `Parameter` (atributo)- Sirve para almacenar un valor constante en una variable de forma que no cambie a lo largo de todo el programa.

Notar la diferencia entre Complex y Array.

Constantes y variables

Tipos de datos básicos

Los tipos de datos se definen como combinación de un tipo de base y un tamaño. El tipo de base puede ser INTEGER, REAL, COMPLEX o LOGICAL. El tamaño especifica la cantidad de memoria que se reserva para la variable.

- Enteros (1, 2, 4 o 8 bytes)
  - `INTEGER*1` → −128 a 127
  - `INTEGER*2` → −32,768 a 32,767
  - `INTEGER*4` → 2,147,483,648 a 2,147,483,647 (defecto)
- Reales (4 o 8 bytes.)
  - `REAL*4` → 7 decimales$10^{\pm 38}$ (defecto)
  - `REAL*8` → 15 decimales$10^{\pm 308}$
- Complejas: se almacenan como pares de números reales (8 o 16 bytes)
  - `COMPLEX*8` → 7 decimales$10^{\pm 38}$ (defecto)
  - `COMPLEX*16` → 16 decimales$10^{\pm 308}$
- Caracteres: 1 byte por carácter
- Lógicas (1, 2, 4 bytes etc, pocas veces utilizadas): `LOGICAL*1`, `LOGICAL*2`, `LOGICAL*4`

Declaración de variables

Para evitar usar declaraciones implícitas se debe poner al principio del programa la siguiente linea:

- `'implicit none'` obliga a declarar todo lo que se vaya a usar

```
program prueba1
    implicit none
    .
    .
    .
end program prueba1
```

Si no se agrega `'implicit none'`, se asume que variables no declaradas tienen un tipo implícito de acuerdo a la siguiente regla: variables cuyos nombres empiezan con `{i,j,k,l,m,n}` se asumen enteras, y todas las demás se asumen reales.

Declaración de variables

- `implicit none` obliga a declarar todo
- Asignar nombres (variables) a los espacios de memoria.
- Palabras de hasta 31 letras
- Incluir números “0-9” y guión bajo “_” (no al comienzo)
- Mayúsculas y minúsculas no se diferencian: `numero_de_planetas` es idéntico a `Numero_de_PLANETAS`

Ejemplos

- `character:: mi_nombre, tu_nombre`
- `integer:: i,j,k,u1,pantuflas`
- `real:: x, y, z, Jota`
- `logical:: respuesta2, test`
- `real,dimension(3):: vector1, vv, conejo`
- `integer,dimension(10,10):: matriz, mm, caso56`

Asignación: ejemplos

Los valores se asignan a las variables en Fortran mediante el operador de asignación (=). El operador de asignación copia el valor del lado derecho del operador al lado izquierdo del operador.

```
character :: mi_nombre
integer :: i,j
real :: x, Jota
logical :: respuesta2, test
real,dimension(3) :: vector1
integer,dimension(10,10) :: mosca

mi_nombre='Diego'
i=1789
x=1.08
vector1=(/1.0,-0.59,6.98/)
vector1(2)=-9.59
sapo(:,:)=0.0
tortuga(1,1)=1.59
```

```
program variables
  implicit none
  ! Declaro variables
  logical :: isAlive
  integer :: i
  real :: a
  character(30) :: texto
  !---------------
  i = 1
  a = 2.5
  texto = 'Estas son las variables'
  isAlive=1>0
  !---------------
  write(*,*) texto
  write(*,*)isAlive , i , a
end program variables
```

Código: 02-variables.f95

E/S

Entrada/Salida

La **entrada** y **salida** en Fortran se realiza mediante las sentencias `READ` y `WRITE`. La sentencia READ lee un valor desde un dispositivo de entrada y lo asigna a una variable. La sentencia WRITE escribe un valor en un dispositivo de salida.
Por default, la entrada de datos es desde el teclado y la salida es a la pantalla.

- `read(,)`
- `write(,)`

Ambos comandos tienen dos argumentos, el primero de los cuales indica la "unidad" de entrada o salida, y el segundo el formato en el que están los datos. La versión más simple es:

- `read(*,*)`
- `write(*,*)`

Aquí, el primer asterisco indica entrada o salida estandard (teclado y pantalla respectivamente), y el segundo formato libre. El comando `write(*,*)` puede substituirse por la forma equivalente `print *` seguido de una coma.

```
PROGRAM mengano
  !Declarar variables .
  implicit none
  character(20) :: nombre
  print *             !Esta linea  imprime un lugar en blanco
  write (*,*) 'Cómo te llamas ?'

  print *             !Esta linea imprime un lugar en blanco

  read (*,*) nombre  !Leemos desde el teclado
  print *
  write (*,*) 'Hola' , nombre
  print *
END PROGRAM mengano
```

Código: 03-entrada_salida.f95

Entrada/Salida

Además de utilizar el teclado y la pantalla, los datos también pueden leerse o enviarse a un archivo. Para ello:

1. abrir el archivo con el comando `open`
2. leer (`read`) o escribir (`write`)
3. cerrar el archivo con el comando `close`

El protocódigo sería el siguiente

```
PROGRAM testES
 ! codigo
 ! codigo
open (unit=|número, \verb|file=|"nombre de archivo"\verb
read (|de donde, en que formato\verb|)
write (|a donde, en que formato\verb|)
close (unit=|número\verb|)

END PROGRAM testES
```

Entrada/Salida

Ejemplos

- `write(*,*) a`
- `write(*,*) 'pelota'`
- `read(*,*) b`
- `open(unit=1,file='mate.txt')`
- `write(1,*) a`
- `close(unit=1)`

```
program abrofile
 implicit none
 integer :: edad
 character(20) :: nombre
 !---
 open(10,file = 'entrada.dat')
 read(10,*) nombre,edad
 close(10)
 !---
 open(11, file='salida.dat')
 write(11,*) 'Me llamo' , nombre
 write(11,*) 'Tengo' , edad , 'a \ ~ nos'
 close(11)
 !---
end program abrofile
```

Código: 04-entrada_salida_files.f90

OPERACIONES BÁSICAS

Operaciones en FORTRAN

Las operaciones aritméticas en FORTRAN involucran los siguientes operadores:

- Asignaciones: `=`

Es muy importante recalcar que este operador NO significa igualdad. En FORTRAN, tiene sentido escribir lineas que algebraicamente son absurdas como por ejemplo:

```
a=a+1
```

Esto significa tomar la variable `a`, sumarle `1`, y asignar el resultado de nuevo a la variable `a`.

Operaciones

- Reales: +, -, *, /, **
- Enteros: +, -, *, / entera, **
- Complejos: +, -, *, /, ** (raíz principal)
- Lógicos: .and., .or., .not.
- Caracteres: // (concatena o une strings)
- Comparaciones: ==, <, >, <=, >=, /= (resultados lógicos)

Ejemplos

- `a = 'clase  de Fortran'`
- `x = 2.53`
- `w = x**2 + 5.1`
- `b = a // a`
- `x > w`

Algunas funciones intrínsecas útiles

Function name & argument	Argument type	Result type
sqrt(x) SQRT(X) (x ≥ 0)	R	R
abs(x)	R/I	R/I
sin(x) (x in radians)	R	R
cos(x) (x in radians)	R	R
tan(x) (x in radians)	R	R
exp(x)	R	R
alog(x)	R	R
alog10(x)	R	R
int(x) integer part of x	R	I
nint(x) nearest integer to x	R	I
real(i)	I	R
fraction(X) = x-int(x)	R	R
mod(a,b) = a-int(a/b)*b remainder	R/I	R/I
max(a,b)	R/I	R/I
min(a,b)	R/I	R/I
asin(x)	R	R
acos(x)	R	R
atan(x)	R	R

Funciones pre-definidas para manipular arrays

- `maxval(array [,dim])`: Calcula el valor máximo.
- `minval(array [,dim])`: Calcula el valor mínimo.
- `maxloc(array [,mask])`: Localización del mayor elemento.
- `minloc(array [,mask])`: Localización del menor elemento.
- `product(array [,dim] [,mask])`: Producto de los elementos del array.
- `sum(array [,dim] [,mask])`: Suma de los elementos del array.
- `dot product(vec 1, vec 2)`: Producto escalar.
- `matmul(matriz a, matriz b)`: Multiplicación matricial.
- `transpose(matriz)`: Matriz transpuesta.

BUCLES

Repeticiones/Bucles

En Fortran 90, los bucles DO y DO WHILE son dos tipos de bucles utilizados para la repetición de código, pero difieren en su estructura y cómo se evalúan las condiciones.
Ejemplo más básico: DO

```
DO i=inicio,fin,paso
        comando 1
        comando 2
        .
        .
END DO
```

- `i`, `inicio`,`fin`,`paso` que deben ser enteros.
- la variable `i` inicia en inicio. Al terminar, el valor de `i` se incrementa en paso.
- siempre que `i <= fin` se vuelven a ejecutar los comandos dentro del loop.
- cuando `i>fin` el loop ya no se ejecuta. El programa continua en el comando que siga después de end do.

Repeticiones 1: DO

`do` variable entera = inicio, fin, paso

> Bloque de instrucciones que deben repetirse. La variable entera puede usarse para adaptar las operaciones a la pasada correspondiente.

`enddo`

Ejemplo 5: suma de números pares

```
program pares
integer :: i,j
 j = 0
 do i = 2, 100, 2
    j = j + i
 enddo
write(*,*) j
endprogram pares
```

Código: 05-repeticiones_DO.f95

Repeticiones 2: DO WHILE

`do while` (condición)

> Bloque de instrucciones que deben repetirse mientras la condición sea VERDADERA.

`enddo`

CUIDADO: ¿Qué problema puede haber con este bucle?

Ejemplo 6: suma de números pares

```
program pares
integer :: i,j
 j = 0
 i = 0
 do while (i <= 100)
    i = i + 2
    j = j + i
 enddo
write(*,*) j
endprogram pares
```

Código: 06-repeticiones_DO_WHILE.f95

DECISIONES

Decisiones

En ocasiones uno desea que una parte del programa sólo sea ejecutada si cierta condición específica se satisface.

“Condicionales”, en FORTRAN:

- `if`
- `select case`

Ambos tienen sus propios usos y ventajas, y la elección entre ellos depende de la situación específica

Decisiones

IF-ELSEIF-ELSE-ENDIF

cuando necesites manejar condiciones complejas o evaluar expresiones booleanas múltiples.

SELECT CASE

cuando estés comparando una sola variable con varios valores posibles, especialmente si esos valores forman un rango o conjunto de valores discretos

Decisiones 1

`if` (condición 1) `then`

> Hacer si condición 1 es VERDADERA.

`elseif` (condición 2) `then`

> Hacer si condición 1 es FALSA y 2 es VERDADERA.

`else`

> Hacer si las condiciones 1 y 2 son FALSAS.

`endif`

Ejemplo 7: clima

```
PROGRAM ClasificarClima
REAL :: temp
!Asignar un valor
!a la temperatura
temp = 25.0

IF(temp < 10.0) then
print *, "Hace frío"
ELSEIF (temp>=10.0 .and. temp<30.0)
print *, "Temperatura templada"
ELSE
print *, "Hace calor"
ENDIF
END PROGRAM ClasificarClima
```

Código: 07-decisiones_IF_ELSE.f95

Decisiones 2

`select case` (expresión) `case` (valor 1)

> Hacer si expresión==valor 1.

`case` (valor 2, valor 3, ...)

> Hacer si expresión==valor 2, o valor 3, ...

`case default`

> Hacer si expresión/=valores listados.

`endselect`

Ejemplo 8: días de semana

```
integer :: dia
!Asignar un valor a un día
dia = 3
select case(dia)
    case(1)
        print *, "Lunes"
    case(2)
        print *, "Martes"
    case(3)
        print *, "Miércoles"
    case(7)
        print *, "Domingo"
    case default
        print *, "Valor no válido"
end select
```

Código: 08-decisiones_SELECT_CASE.f95

ARRAYS

Arreglos

Son variables que pueden almacenar un conjunto de datos del mismo tipo. Los arreglos se pueden declarar de forma estática o dinámica.

Arreglos estáticos

Tienen un tamaño fijo que se especifica en el momento de la declaración. Por ejemplo, el siguiente código declara un arreglo estático de 10 enteros:

```
integer :: a(10)
```

El tamaño del arreglo a es 10. Esto significa que el arreglo puede almacenar 10 enteros

Arreglos dinámicos

No tienen un tamaño fijo. El tamaño del arreglo se puede especificar en tiempo de ejecución mediante la sentencia ALLOCATE. Por ejemplo, el siguiente código declara un arreglo dinámico de enteros:

```
integer :: a

allocate(a(10))
```

La sentencia ALLOCATE reserva 10 bytes de memoria para el arreglo a.

Arreglos

FORTRAN puede almacenar en memoria vectores y matrices utilizando variables llamadas “arreglos”. Los “arreglos” pueden ser de cualquiera de los tipos aceptados por FORTRAN.

Arreglos de tamaño fijo (desde el principio):

Por ejemplo, para declarar un vector de 3 componentes y una matriz de `4 x 5` se escribe:

```
real,dimension(3) :: v
real,dimension(4,5) :: m
```

- También se puede dar explícitamente el rango permitido para los índices:

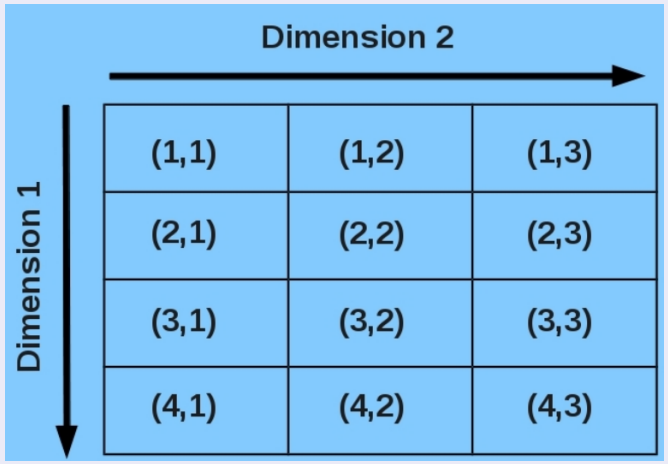
```
real,dimension(0:8),v1
real,dimension(2:5),v2
```

Arrays

- Los arrays (o matrices) contienen una colección de diferentes valores al mismo tiempo.
- Se accede a los elementos individuales subindicando el array.
- Un array de 10 elementos se visualiza como

1	2	3	· · ·	8	9	10

mientras que un array de 4×3 como



Arrays: algunos detalles

Fortran

- Almacenamiento por columnas
- Índices basados en 1
- Arreglos multidimensionales: simples
- Necesidad de gestionar la memoria: solo dinámicos

C

- Almacenamiento por filas
- Índices basados en 0
- Arreglos multidimensionales: maso
- Necesidad de gestionar la memoria: todos los arreglos, ya sean estáticos o dinámicos

Arrays

Declaración: ejemplos equivalentes

```
real, dimension(100) :: a
```

```
real :: a(100)
```

```
real :: a(1:100)
```

```
real :: a(-39:60)
```

```
integer, parameter :: nn = 100
real :: a(nn)
```

Arrays

Inicialización: ejemplos equivalentes

```
real :: a(5)
do i = 1, 5
   a(i) = i
end do
```

```
real :: a(5)
a = (/ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 /)
```

```
real :: a(5) = (/1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0/)
```

```
real :: a(5) = (/ (i, i = 1, 5) /) ! DO implícito
```

Más sobre Arrays

```
real :: a(10)
real :: b(10)
real :: c(10)
...
do i = 1, 10
c(i) = a(i) + b(i)
end do
```

→

```
real :: a(10)
real :: b(10)
real :: c(10)
...
c=a+b
```

I/O de Arrays

```
write(*,*) a(1), a(2), a(3), a(4), a(5)
write(*,*) (a(i), i = 1, 5)
write(*,*) a(:)
write(*,*) a(2:4)
```

Arreglos

- Declaración: `integer,dimension(1:5):: x`
- Asignación directa: `x = (/2,4,6,8,10/)`
- Do implícito 1: `x = (/ (2*i, i=1, 5) /)`
- Do implícito 2: `write (*,*) (x(i), i=1, 5)`
- Elementos: `x(1), x(2)`, etc.
- Secciones: `x(2:4), x(:4), x(2:), y(1:3,8:15), x(:)`
- Elementos de secciones: `x(1:4)(2)` NO ES VALIDO
- Operaciones elemento a elemento: +, -, *, /, ==, etc.
- Asignación de secciones: `x(2:4)=(/56,76/)`
- Funciones intrínsecas: `sum(x), dot_product(x,y), matmul(a,b)`

Código: 09-arrays.f95

Arreglos y asignación dinámica de memoria

Fortran 90/95 permite la asignación dinámica de memoria. Esto quiere decir que podemos dimensionar los arreglos durante la ejecución del programa, sin tener que asignarles un tamaño al momento de declararlos. Para esto, los arreglos deben declararse con el atributo `ALLOCATABLE`.

```
REAL, ALLOCATABLE :: V(:), A(:,:) !V vector y A matriz
```

Para asignarles un tamaño, usamos la sentencia ALLOCATE, por ejemplo:

```
ALLOCATE(V(5))
ALLOCATE(A(N,M))
```

Usando la sentencia DEALLOCATE liberamos la memoria cuando dejamos de utilizar los arreglos:

```
DEALLOCATE(V)
DEALLOCATE(A)
```

Arreglos dinámicos

Ejemplo

```
program multiplica
  real ,dimension(:,:) ,allocatable :: x

  allocate(x(2,2))
  x = 2.0
  write(*,*) matmul(x,x)
  deallocate(x)

  allocate(x(10,10))
  x = 1.0
  write(*,*) sum(x)
  deallocate(x)

endprogram multiplica
```

Código: 10-arrays_dinamicos.f95

Más sobre cadenas de caracteres

Para representar cadenas de caracteres (texto). Las constantes se escriben delimitando los caracteres entre apóstrofes (comilla simple) o comillas dobles:

Ejemplo

```
character ( len = 5 ) : : a
character ( len = * ) , parameter :: b= 'Ah no!'
```

- Secciones: `a(1:3), a(1:1), a(5:), a(:3)`
- Operaciones: `a//b`
- Funciones intrínsecas:
  - `len(a)`: longitud de la cadena
  - `len_trim(a)`: longitud sin espacios a la derecha
  - `ichar('e')`: código entero correspondiente a la letra e
  - `char(65)`: letra correspondiente al código 65
  - `iachar(65), achar(65)`: ídem pero del ASCII
  - `adjustl(a), adjustr(a)`: justifica izquierda o derecha
  - `trim, scan, index, verify, repeat`

Más sobre E/S: formato

- `read(unit=*,fmt='(formato)') a, b, c, ...`
  `write(unit=*,fmt='(formato)') a, b, c, ...`
- Enteros: `I`w (base 10), `B`w (base 2), `O`w (base 8), `Z`w (base 16)
- Reales: `F`w.d (sin exponente), `E`w.d, `E`w.d`E`e, `ES`w.d`E`e
- Complejos: como dos reales
- Lógicos: `L`w
- Caracteres: `A`, `A`w, `"texto"`
- Control: `T`n, `TR`n ó n`X`, `TL`n, `/`, repeticiones

Ejemplos

```
write (*,'(2X,I4,F8.3,A)') int, real, char12
write (*,'("Resultado=",I4,E8.3,/,A3)') int, real, char12
read (1,'(I4,5X,F10.7,A15)') int, real, char12
read (1,'(3I4)') int1, int2, int3
```

Código 11-ES_formato.f95

Códigos de formato

Código	*Descripción*
`Iw[.m]`	Entero base 10 (decimal)
`Bw[.m]`	Entero base 2 (binario)
`Ow[.m]`	Entero base 8 (octal)
`Zw[.m]`	Entero base 16 (hexadecimal)
`Fw.d`	Real sin exponente
`Ew.d[Ee]`	Real con exponente `e`
`ENw.d[Ee]`	Real en notación ingeniera
`ESw.d[Ee]`	Real en notación científica
`Dw.d`	Real con exponente `d`
`Lw`	Lógico
`A[w]`	Carácter
`Gw.d[Ee]`	Dato general
`' '`	Literal
`" "`	Literal
`nX`	Avanzar n espacios
`Tn`	Tabulación absoluta
`TRn`	Tabulación a la derecha
`TLn`	Tabulación a la izquierda
`[r]/`	Salto de registro
`BN`	Ignora espacios en campos numéricos
`BZ`	Convierte espacios a ceros en campos numéricos
`S`	El signo + opcional se imprime o no según el procesador
`SP`	Se imprime el signo + opcional
`SS`	No se imprime el signo + opcional
`kP`	Factor de escala
`:`	Final de formato

Significado de los valores `w`, `m`, `d`, `e`, `k`, `n`, `r`:

- `w` establece la anchura del campo
- `m` indica al menos m cifras en el campo
- `d` indica el número de cifras decimales en el campo
- `e` indica el número de cifras del exponente
- `k` es un factor de escala
- `n` indica la posición en el registro desde su principio (para el descriptor `T`)
- `n` número de espacios a mover (para los descriptores `X`, `TR`, `TL`)
- `r` factor opcional de repetición, por defecto vale 1

Restricciones: $w>0$, $e>0$, $0 \le m \le w$, $0 \le d \le w$, $0<e \le w$, $n \ge 1$, $r \ge 1$, $k \ge 0$

Más sobre E/S

- IOSTAT: Es una especificación opcional que se usa para manejar errores durante la operación de lectura. IOSTAT captura el código de estado de la operación de entrada/salida.

Ejemplo

```
read(unit,fmt,iostat=i) a, b, c, ...
```

- `i<0`: fin de archivo
- `i=0`: OK
- `i>0`: error

- ADVANCE:

  ```
  write(unit,fmt,advance='no') a, b, c, ...
  ```

- Archivos internos:

  ```
  read(character,fmt) real write(character,fmt) real
  ```

Códigos ES_IOSTAT.f95 y ES_ENDFILE.f95

Recapitulación

- Entrada/Salida
- Variables
- Operaciones
- Repeticiones
- Decisiones

Ejercitación

- Probar los ejemplos dados
- Inventar variantes: anidar bucles, anidar decisiones, abortar bucles, etc.
- Resolver el Ejercicio 1 (no usar la función MATMUL)

Recordemos:

Ejercicio propuesto: Leer dos archivos de datos con varias filas y columnas (dos matrices), hacer una operación entre filas y columnas (multiplicarlas) y determinar si el resultado es un archivo (matriz) con todos sus elementos positivos.

¿Qué necesitamos saber para poder resolver el problema?

I Leer matrices →	• E/S, Memoria
II Multiplicar →	• Operaciones, Memoria, Repeticiones
III Imprimir resultado →	• E/S
IV ¿Positivos? →	• Decisiones

Definición de lista de datos (matrices)

Sean dos archivos A y B de la siguiente forma:

$$Archivo1 \rightarrow \begin{matrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{matrix} , Archivo2 \rightarrow \begin{matrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mn} \end{matrix}$$

Los vamos a identificar como "dos matrices"

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mk} \end{pmatrix} , B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{k1} & b_{k2} & \dots & b_{kn} \end{pmatrix}$$

La idea es leer esta información guardada en archivos y luego realizar operaciones matemáticas entre sus elementos: multiplicar/sumar.

Operación matemática elegida: producto de matrices

Repaso producto de matrices:

El producto de la tabla (matriz) A por la tabla (matriz) B y que da como resultado la tabla C, se calcula como:

$$C = A \cdot B$$

cuyos elementos son:

$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & \mathbf{c_{22}} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{pmatrix}$$

con

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^{N} a_{ik} b_{kj}$$

Ej:

$$c_{23} = \sum_{k=1}^{N} a_{2k} b_{k3} = a_{21} b_{13} + a_{22} b_{23} + \dots + a_{2N} b_{N3}$$