

# Diseño lógico: El modelo relacional

Bases de Datos

Curso 2018-2019

**Jesús Correas – [jcorreas@ucm.es](mailto:jcorreas@ucm.es)**

**Departamento de Sistemas Informáticos y Computación  
Universidad Complutense de Madrid**

# Bibliografía

- Bibliografía básica:
  - ▶ R. Elmasri, S.B. Navathe. **Fundamentals of Database Systems** (6a Ed). Addison-Wesley, 2010. (en español: **Fundamentos de Sistemas de Bases de Datos** (5a Ed). Addison-Wesley, 2007).  
Capítulos 5 y 7 (5ª ed. en español). Capítulos 3 y 9 (6ª ed.).

# Contenido

- Introducción. El modelo relacional.
- Elementos fundamentales del modelo relacional:
  - ▶ relaciones, tuplas, atributos, restricciones de integridad.
- Esquema de una relación, instancia de una relación.
- Esquema de una BD relacional, BD relacional (instancia).
- Superclaves, claves, claves externas.
- Restricciones del modelo relacional.
- Restricciones de integridad referencial.
- Conversión del modelo ER al modelo relacional.

# Introducción. El modelo relacional.

- El **modelo relacional (MR)** fue propuesto por E. F. Codd (de IBM) en 1970, **antes de proponerse el modelo ER** (que propuso P. Chen en 1976).
- Las primeras implementaciones aparecieron a principios de los años 80 (IBM, Oracle).
- Contiene los principios formales que están detrás de todos los sistemas de BD relacionales.
- Después se ha utilizado en la mayor parte de los SGBD relacionales comerciales: DB2, Informix, Oracle, Sybase, SQLServer, MySQL, PostgreSQL, etc.
- **SQL** es el lenguaje de consulta que se utiliza en estos SGBD y es el estándar de la industria para BD relacionales.

# Elementos fundamentales del modelo relacional.

- En el modelo relacional una BD se representa mediante una **colección de relaciones**.
- Una **relación** se puede ver de manera informal como una **tabla de valores** (o un **fichero plano con registros**, aunque es diferente).
- **No se debe confundir con las relaciones del modelo ER:** Tanto las entidades como las relaciones del modelo ER pasan a ser relaciones del modelo relacional.
  - ▶ Veremos más adelante cómo se realiza la conversión del modelo ER al modelo relacional.
- Cada **fila** (o **tupla**) de la tabla corresponde a un elemento de la relación: un conjunto de datos relacionados.
  - ▶ Cada tupla representa un elemento que se corresponde **con una entidad o relación** del contexto de la aplicación.
- Cada **columna** tiene un nombre y corresponde a un **atributo** específico de las tuplas de la tabla, definido sobre un **dominio**.

## Esquema de relación, estado de relación.

- Un **esquema de relación** representa la **estructura** de una relación del modelo relacional:

Un **Esquema de relación R** es de la forma  $R(A_1, \dots, A_n)$ , donde  $A_i$  son los **atributos** de la relación.

- Ejemplo:

EMPLEADO(NSS, Nombre, Puesto, Edad, Telefono)

- El **grado** o **aridad** de una relación es el número de atributos que tiene.
- Cada **atributo**  $A_i$  es **es el nombre de un rol** jugado por un **dominio**. Utilizamos  $dom(A_i)$  para referirnos al dominio de un atributo.
- No se permiten atributos compuestos o multivalorados.
- Ejemplo:** En el esquema de relación anterior:

$dom(NSS)$  es el conjunto de todos los números de SS posibles,  
 $dom(Puesto)$  es el conjunto de todos puestos disponibles en la empresa, etc.

## Instancia o estado de relación.

Una **relación** (también denominada **instancia o estado de relación**) de un esquema  $R(A_1, \dots, A_n)$  es un **conjunto de tuplas**  $\{t_1, \dots, t_m\}$ , donde cada tupla es una **secuencia ordenada** de valores:  $t_j = \langle v_1, \dots, v_n \rangle$ , donde  $v_i$  es NULO o bien  $v_i \in \text{dom}(A_i)$ .

- Es una relación **en sentido matemático**:

Un subconjunto del producto cartesiano  $\text{dom}(A_1) \times \dots \times \text{dom}(A_n)$ .

- Un esquema de relación puede tener varios atributos definidos en el mismo dominio, cumpliendo diferentes **roles**. Por ejemplo, el teléfono particular y el teléfono del trabajo.
- **Ejemplo:** Dado el esquema de relación:

EMPLEADO(NSS, Nombre, Puesto, Edad, Telefono)

una instancia de la relación EMPLADO es por ejemplo la siguiente:

$\{\langle 11234, \text{Arturo García}, \text{Cocinero}, 37, 911234567 \rangle,$   
 $\langle 43210, \text{Javier Muñoz}, \text{pinche}, 22, 911234000 \rangle, \dots\}$

# BD relacional y esquema de BD relacional.

Más definiciones:

- Un **Esquema de BD relacional** está formado por un conjunto de esquemas de relación  $R$  y un conjunto de restricciones de integridad  $RI$ .
- Una **BD relacional** (también denominada **instancia o estado de BD relacional**) es un conjunto de relaciones (conjuntos de tuplas) del esquema de BD relacional correspondiente.
  - ▶ Un estado de BD relacional es **válido** (o **correcto**) si se cumplen las restricciones de integridad.
  - ▶ Es **inválido** (**incorrecto**) en caso contrario.
- Las restricciones de integridad las veremos más adelante.



## Características de las relaciones.

- Las relaciones son **conjuntos de tuplas** en sentido matemático: **no están ordenadas** y no pueden contener **tuplas repetidas**.
- Los valores de los atributos dentro de cada tupla **sí están ordenados**.
- Cada valor es **atómico**: no se permiten valores compuestos (al menos dentro del modelo relacional).
- No se permiten múltiples valores: los atributos multivalorados del modelo ER se convertirán en otras relaciones.
- Se utiliza el valor especial **NULO** cuando no se tiene el valor para un atributo en una tupla por algún motivo:
  - ▶ No es aplicable a esa tupla,
  - ▶ Es desconocido o no está disponible para ese estado de la BD.
- **Interpretación de una relación**: Las tuplas de una relación **representan hechos** sobre entidades o relaciones (del mod. ER).
- Por defecto los atributos no pueden tener valor **NULO**; para que acepten el valor **NULO** **deben marcarse en el MR con un asterisco**.

# Superclaves y claves en las relaciones.

- Los conceptos de **superclave** y **clave** son similares a los del modelo ER:

Una **superclave** es un subconjunto de los atributos de una relación que permite **identificar** cada tupla del conjunto.

Representa una **restricción de unicidad**: no puede haber dos tuplas distintas en la relación que tengan el mismo valor en estos atributos.

- Una **clave candidata** es una superclave con un número mínimo de atributos (ninguno de sus subconjuntos es clave).
- Una de las claves candidatas es elegida **clave primaria** de la relación.
- En el modelo relacional las claves primarias se representan subrayadas en el esquema de relación. Ejemplo:

EMPLEADO (**NIF**, Nombre, Apellido, NSS, FecNacim)

- Además existe el concepto de **clave externa** (*foreign key, FK*):

## Clave externa o foránea.

- En una BD relacional distintas relaciones pueden tener **atributos que representen el mismo concepto**.
- En especial, en una relación se pueden utilizar atributos para **referirse** a tuplas de otra relación.
- Lo vemos con un **ejemplo**:
  - ▶ Queremos representar la información del departamento para el que trabajan los empleados de una empresa:



- ▶ Podemos modelarlo utilizando un atributo en la relación **empleado** que **se refiera al** departamento para el que el empleado trabaja:  
EMPLEADO(NIF, Nombre, Apellido, NSS, FecNacim, Dept)  
DEPARTAMENTO(IdDept, Descripción)
- ▶ **Dept forma una clave externa que hace referencia a DEPARTAMENTO.**
- ▶ **Dept** e **IdDept** representan el mismo concepto y están definidos en el mismo dominio.

## Clave externa o foránea.

Un conjunto de atributos  $FK$  de una relación  $R_1$  es una **clave externa** que **hace referencia** a otra relación  $R_2$  si se cumple:

1. Los atributos de  $FK$  tienen los mismos dominios que los atributos de la **clave primaria** de  $R_2$ .
  2. Los valores de los atributos de  $FK$  en una tupla de  $R_1$ , o aparecen en la clave primaria de una tupla de  $R_2$ , o bien son `NULO`.
- Las claves primarias y externas se utilizan para expresar algunas **restricciones** en el MR para garantizar que los datos de un estado de BD relacional sean **correctos y consistentes**.

# Restricciones en el modelo relacional.

Hay tres tipos de restricciones:

- **Restricciones implícitas: inherentes al modelo relacional.**
  - ▶ No puede haber **tuplas duplicadas** en una relación.
  - ▶ No se permiten atributos compuestos o multivalorados.
- **Restricciones implícitas: expresables en el modelo relacional.**
  - ▶ **Restricciones de dominio:** el valor de cada atributo  $A_i$  debe estar en  $dom(A_i)$ .
  - ▶ **Restricciones de clave:** Dos tuplas diferentes **no pueden tener el mismo valor** para los atributos de una superclave (y en particular la clave primaria).
  - ▶ **Restricciones de integridad de entidad:** El valor de los atributos de la clave primaria **no puede ser NULO**.
  - ▶ **Restricciones de integridad referencial.** El valor de los atributos de una clave externa, o bien aparecen en una tupla de la relación referenciada, o todos tienen el valor NULO.
- **Restricciones no expresables en el MR: restricciones semánticas (reglas de negocio):** las comprueban los programas de aplicación y disparadores o aserciones.

## Restricciones de integridad referencial.

- Las restricciones anteriores, excepto las de integridad referencial y las semánticas, se especifican para una relación individual.
- Las **restricciones de integridad referencial** se especifican **entre dos relaciones** para mantener la consistencia de las tuplas de ambas:

La tupla de una relación  $R_1$  que hace referencia a otra relación  $R_2$  mediante una **clave externa**, debe hacer referencia a una **tupla existente de  $R_2$** .

- Normalmente corresponden a **relaciones entre entidades del modelo ER**.
- Las restricciones de integridad se pueden mostrar en forma de diagrama con una flecha que va **desde cada clave externa hasta la clave primaria de la relación referenciada**.

DEPARTAMENTO

<u>IdDeppto</u>	Descripcion
-----------------	-------------

EMPLEADO

<u>NIF</u>	Nombre	Apellido	FecNacim	Deppto
------------	--------	----------	----------	--------



# Paso del Modelo ER al Modelo Relacional.

- Está formado por una serie de pasos, agrupados por el tipo de elemento a considerar:

## **Paso de tipos de entidades:**

1. Tipos de entidades regulares.
2. Tipos de entidades débiles.

## **Paso de tipos de relaciones binarias:**

3. Tipos de relaciones  $1:N$ .
4. Tipos de relaciones  $N:M$ .
5. Tipos de relaciones  $1:1$ .

## **Paso de atributos multivalorados:**

6. Atributos multivalorados.

## **Paso de tipos de relaciones n-arias:**

7. Tipos de relaciones  $n$ -arias.

## **Paso del Modelo ER extendido:**

8. Generalizaciones / especializaciones.
9. Agregaciones.

## Paso de ER a MR: Pasos 1 y 2. Tipos de entidad.

### Paso 1. Tipos de entidades regulares.

- Por cada tipo de entidad  $E$  que no sea débil se crea un esquema de relación  $R$  con el mismo nombre y atributos.
- Los atributos compuestos se incluyen con sus componentes simples.
- La **clave primaria** del esquema  $R$  es la misma que la de la entidad  $E$ . Si el atributo clave es compuesto, la clave estará formada por los componentes simples.



### Paso 2. Tipos de entidades débiles.

- Cada tipo de entidad débil  $E$  (con entidad identificadora  $D$ ) se transforma en un esquema de relación  $R$  que incluye los atributos de  $E$  más los atributos de la clave de  $D$ .
- La **clave primaria** de  $R$  es la **combinación** de la clave parcial de  $E$  con la clave primaria de  $D$ .



### Paso 3. Tipos de relación binaria 1:N.

- Suponemos que  $S$  es una relación 1:N entre dos tipos de entidad  $E$  y  $D$ , donde  $E$  tiene cardinalidad  $N$  y para las que se han creado esquemas de relación  $R_E$  y  $R_D$  en el modelo relacional.
- La conversión consiste en lo siguiente:
  - ▶ **Se añaden** al esquema  $R_E$  (lado  $N$  de la relación) **los atributos de la clave primaria de  $R_D$  (lado 1) y los atributos de la relación  $S$ .**
  - ▶ **Se añade a  $R_E$  una clave externa formada por el conjunto de atributos que forma la clave primaria de  $R_D$ .**
- Si la participación de  $E$  es parcial, los atributos añadidos a  $R_E$  **deben admitir valores nulos**.<sup>1</sup>
- Si la participación de  $D$  es **total**, **esta información se pierde en el MR** (deberíamos añadir restricciones semánticas al sistema).

---

<sup>1</sup>Recuerda que los atributos que permiten valores nulos se deben marcar con un asterisco.

### Paso 3. Tipos de relación binaria 1:N (cont.)

**Ejemplo:** (los atributos no se muestran en la figura)



- Los esquemas de relación generados son los siguientes:

DEPARTAMENTO (DeptId, Descripcion)

EMPLEADO (NIF, Nombre, Apellido, FecNacim, **DeptId\***)

- DeptId es una **clave externa** que hace referencia a DEPARTAMENTO.

- **Se añade DeptId a EMPLEADO** para representar la relación: cada empleado hace referencia al Id de departamento en el que trabaja, y en un departamento pueden trabajar varios empleados.
- La **participación** de EMPLEADO en TRABAJA es **parcial**: el atributo DeptId debe permitir valores nulos (hay un asterisco en DeptId).

### Paso 3. Tipos de relación binaria 1:N (cont.)

- Si el número de valores nulos esperado es muy grande, puede ser conveniente **crear un nuevo esquema de relación  $R_S$  con:**
  - ▶ los atributos de las claves primarias de  $R_E$  y  $R_D$  y los propios de  $S$ ;
  - ▶ **clave primaria** formada por los atributos de  $R_E$ ;
  - ▶ **Claves externas** que hacen referencia a  $R_E$  y  $R_D$ .
- En este caso los atributos en  $R_S$  **no deben permitir valores nulos** (la participación parcial se expresa mediante la ausencia de tuplas en la relación  $R_S$ ).
- **Ejemplo:**



DEPARTAMENTO (DeptId, Descripción)

EMPLEADO (NIF, Nombre, Apellido, FecNacim)

TRABAJA (NIF, DeptId)

- NIF es una **clave externa** que hace referencia a EMPLEADO
- DeptId es una **clave externa** que hace referencia a DEPARTAMENTO

## Paso 4. Tipos de relación binaria $N:M$ .

- Suponemos una relación  $S$  de cardinalidad  $N:M$  entre dos tipos de entidades  $E$  y  $D$  para las que se han creado relaciones  $R_E$  y  $R_D$  en el modelo relacional.
- La conversión se hace de la siguiente forma:
  - ▶ **Se crea una nueva relación  $R_S$**  con los atributos de las claves primarias de  $R_E$  y  $R_D$  y los atributos de la relación  $S$ .
  - ▶ La **clave primaria** de  $R_S$  está formada por los atributos que provienen de las claves primarias de  $R_E$  y  $R_D$ .
  - ▶ Se incluyen dos **claves externas** en  $R_S$  desde cada uno de los conjuntos de atributos que forman las claves primarias de  $R_E$  y  $R_D$ , hacia los esquemas de relación  $R_E$  y  $R_D$ , respectivamente.
- **La información de participación total de ambos tipos de entidad se pierde en el modelo relacional** (debemos añadir restricciones semánticas para representarlo).

## Paso 4. Tipos de relación binaria $N:M$ (cont.)

**Ejemplo:** (los atributos no se muestran en la figura)



- Los esquemas de relación generados son los siguientes:

`PLATO(IdPlato, Descripción, precio)`

`INGREDIENTE(IdIngr, Descripción)`

`CONTIENE(IdPlato, IdIngr)`

- `IdPlato` es una **clave externa** que hace referencia a `PLATO`.
- `IdIngr` es una **clave externa** que hace referencia a `INGREDIENTE`.
- CONTIENE se añade** para representar la relación: un par (`IdPlato`, `IdIngr`) en el esquema `CONTIENE` indica que el ingrediente `IdIngr` se utiliza para preparar el plato `IdPlato`.
- Un plato puede contener varios ingredientes y viceversa.
- La participación total no puede representarse en ninguno de los lados** utilizando claves externas: se requiere una restricción semántica.

## Paso 5. Tipos de relación binaria 1:1

- Suponemos una relación 1:1 entre dos tipos de entidad  $E$  y  $D$ , para las que se han creado esquemas de relación  $R_E$  y  $R_D$  en el modelo relacional.
- Se pueden dar tres casos en función de las restricciones de participación:

### 1. Ambos tipos de entidad tienen participación total en $S$ :

- ★ Se puede crear una única relación  $R_{E,D}$  combinando los atributos de ambas entidades.
- ★ Solo se mantiene una de las claves primarias, la que se considere más adecuada para el sistema.
- ★ Se podría aplicar el caso 2, pero **se pierde información sobre las restricciones de participación.**

### 2. Un tipo de entidad (ej., $R_E$ ) tiene participación total en $S$ :

- ★ **Se añaden a  $R_E$**  los atributos de la clave primaria de  $R_D$  y los atributos de  $S$ .
- ★ Se añade una **clave primaria** a  $R_E$  que haga referencia a  $R_D$ .
- ★ En la conversión **se pierde la información de restricciones de cardinalidad de  $R_E$**  (pues es similar a una relación 1: $N$ ).

## Paso 5. Tipos de relación binaria 1:1 (cont.)

### 3. Ambos tipos de entidad tienen participación parcial en S:

- ▶ Se elige uno de los tipos de entidad (ej.,  $R_E$ ) y se aplica el caso 2.
- ▶ Los atributos añadidos a  $R_E$  **deben admitir valores nulos**.
- ▶ La información de cardinalidad **también se pierde en este caso**.

#### ● Ejemplo:



- ▶ Los esquemas de relación generados son:

DEPARTAMENTO(IdDept, Descripción, **NIFDirector\***)

EMPLEADO(NIF, Nombre, Apellido, FecNacim)

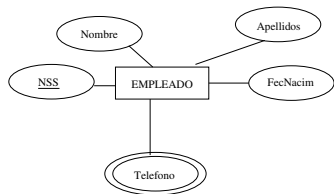
- NIFDirector es una **clave externa** que hace referencia a

EMPLEADO

- ▶ **NIFDirector se añade a DEPARTAMENTO** para representar la relación: cada departamento hace referencia al NIF del director.
- ▶ La **participación** de DEPARTAMENTO en DIRIGE puede representarse como **parcial** o **total** si se permiten o no valores nulos en NIFDirector.
- ▶ **La cardinalidad 1 de DEPARTAMENTO no se puede representar** (es necesario añadir restricción semántica).

## Paso 6. Atributos multivalorados.

- Por cada atributo multivalorado  $M$  en un tipo de entidad  $E$  se crea un nuevo esquema de relación  $R$  con un atributo  $M$  más la clave primaria de  $E$ .
- La **clave primaria** de  $R$  está formada por el atributo  $M$  más la clave primaria de  $E$ .
- Esta relación tendrá una **clave externa** formada por los atributos de la clave primaria procedente de la clave de  $E$ .
- **Ejemplo:**



EMPLEADO (SSN, Nombre, Apellido, FecNacim)

TELEFONOS (SSN, telefono)

- SSN es una **clave externa** que hace referencia a EMPLEADO.

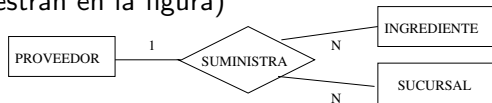


## Paso 7. Tipos de relaciones ternarias.

- Suponemos una relación  $S$  entre tres tipos de entidad con a lo sumo una entidad con cardinalidad 1. La correspondencia con el MR es la siguiente:
  - ▶ Se crea un nuevo esquema de relación  $R_S$  con los atributos de las claves primaria de los tipos de entidad participantes y los atributos propios de la relación  $S$ .
  - ▶ La **clave primaria** de  $R_S$  está formada por los atributos de las claves primarias **de las tres entidades**.
  - ▶ Se añaden tres **claves externas** a  $R_S$ , de cada uno de los conjuntos de atributos copiados de las claves primarias de cada tipo de entidad, que hacen referencia a los esquemas de los que proceden.
- Si la cardinalidad de un tipo de entidad es 1, entonces la **clave primaria** de  $R_S$  no debe incluir los atributos que proceden de ese tipo de entidad.

## Paso 7. Tipos de relaciones ternarias (cont.)

**Ejemplo:** (los atributos no se muestran en la figura)



- Los esquemas de relación se generan de la siguiente forma:

PROVEEDOR(IdProv, Nombre)

INGREDIENTE(IdIngr, Descripción)

SUCURSAL(IdSuc, Dirección)

SUMINISTRA(IdSuc, IdIngr, IdProv)

- IdSuc es una **clave externa** que hace referencia a SUCURSAL.
  - IdIngr es una **clave externa** que hace referencia a INGREDIENTE.
  - IdProv es una **clave externa** que hace referencia a PROVEEDOR.
- Se añade **PROVEE** para representar la relación: una tupla (IdSuc, IdIngr, IdProv) en el esquema PROVEE indica que el ingrediente IdIngr es provisto por el proveedor IdProv a la sucursal IdSuc.
- La **cardinalidad 1** de PROVEEDOR se representa **excluyéndola** de la **clave primaria**. Se pueden representar participaciones totales?

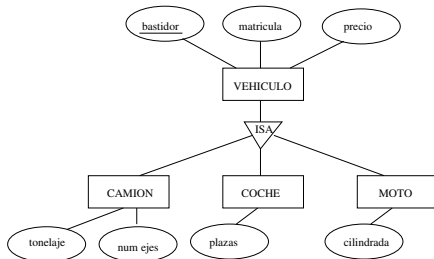
## Paso 8. Generalización y especialización.

Para el modelo ER extendido se añaden dos nuevos pasos:

- Suponemos una relación ISA entre un tipo de entidad superclase  $P$  y un tipo de entidad subclase  $S$ .
- La conversión al MR es la siguiente:
  - ▶ El esquema de relación del tipo de entidad skuperclase  $R_P$  se crea siguiendo el paso 1.
  - ▶ Para el tipo de entidad subclase  $S$  se crea un esquema de relación  $R_S$  que incluye los atributos de  $S$  **y los atributos de la clave primaria de la superclase  $R_P$ .**
  - ▶ La **clave primaria** de  $R_S$  está formada por los atributos provenientes de la clave primaria de la superclase  $R_P$ .
  - ▶ Además se añade una **clave externa** a  $R_S$  con los atributos de su clave primaria, que hace referencia a la clave primaria de  $R_P$ .

## Paso 8. Generalización y especialización (cont.)

### Ejemplo:



- Los esquemas de relación que se generan son los siguientes:

VEHICULO(Bastidor, Matrícula, Precio)

CAMION(Bastidor, PesoMáx, NumEjes)

AUTOMOVIL(Bastidor, Asientos)

MOTO(Bastidor, Cilindrada)

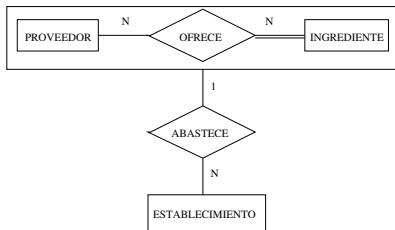
- Tres **claves externas** de Bastidor en CAMION, AUTOMOVIL y MOTO que hacen referencia a VEHICULO.

## Paso 9. Agregaciones.

- Los tipos de entidades o de relaciones dentro o fuera de una agregación se construyen en el modelo relacional con los pasos anteriores.
- Suponemos un tipo de relación  $S$  que relaciona una agregación  $A$  con un tipo de entidad  $E$ .
- Para pasar la relación  $S$  al MR, aplicamos uno de los pasos anteriores (3 al 7), pero utilizamos los atributos de la relación  $S$  y los siguientes:
  - ▶ Los atributos de la **clave primaria del tipo de entidad  $E$** .
  - ▶ Los atributos de la **clave primaria** del esquema de relación que representa **el tipo de relación principal de la agregación  $A$** .
- Por último, se añaden **claves externas** de los conjuntos que forman las claves primarias que hagan referencia a los esquemas de relación de los que proceden.

## Paso 9. Agregaciones (cont.)

### Ejemplo:



- Los esquemas de relación se generan de la siguiente forma:

PROVEEDOR(IdProv, Nombre)

INGREDIENTE(IdIngr, Descripción, Precio)

OFRECE(IdProv, IdIngr)

- IdProv es una **clave externa** que hace referencia a PROVEEDOR.
- IdIngr es una **clave externa** que hace referencia a INGREDIENTE.

SUC=AL(IdSuc, Dirección, **IdProv**, **IdIngr**)

- {IdProv, IdIngr} es una **única clave externa** que hace referencia a OFRECE.