Bases de datos objeto-relacionales

El término base de datos objeto-relacional se usa para describir una base de datos que ha evolucionado desde el modelo relacional hasta una base de datos híbrida, que contiene ambas tecnologías: relacional y de objetos.

Durante muchos años ha habido debates sobre cómo será la siguiente generación de la tecnología de bases de datos de uso común:

- Las bases de datos orientada a objetos.
- Una base de datos basada en SQL con extensiones orientadas a objetos.

Los partidarios de la segunda opción esgrimen varias razones para demostrar que el modelo objeto relacional dominará:

- Las bases de datos objeto-relacionales tales como Oracle8*i* son compatibles en sentido ascendente con las bases de datos relacionales actuales y que además son familiares a los usuarios. Los usuarios pueden pasar sus aplicaciones actuales sobre bases de datos relaciones al nuevo modelo sin tener que reescribirlas. Posteriormente se pueden ir adaptando las aplicaciones y bases de datos para que utilicen las funciones orientadas a objetos.
- Las primeras bases de datos orientadas a objetos puras no admitían las capacidades estándar de consulta *ad hoc* de las bases de datos SQL. Esto también hace que resulte problemático realizar la interfaz entre las herramientas SQL estándar y las bases de datos orientadas a objetos puras.

  una de las principales razones por las que las bases de datos relacionales tuvieron un éxito tan rápido fue por su capacidad para crear consultas *ad hoc*.

Tecnología objeto-relacional...

Para ilustrar la tecnología objeto-relacional utilizaremos como ejemplo el modelo que implementa la base de datos Oracle8.

Tipos de objetos

- El modelo relacional está diseñado para representar los datos como una serie de tablas con columnas y atributos.
- Oracle8 es una base de datos objeto-relacional: incorpora tecnologías orientadas a objetos.

  En este sentido, permite construir tipos de objetos complejos, entendidos como:
  - Capacidad para definir objetos dentro de objetos.
  - Cierta capacidad para encapsular o asociar métodos con dichos objetos.

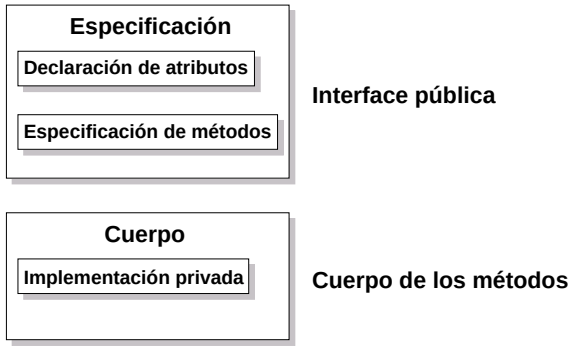
Estructura de un tipo de objeto

Un tipo de objeto consta de dos partes: especificación y cuerpo:

- La *especificación* constituye la interface a las aplicaciones; aquí se declaran las estructuras de datos (conjunto de atributos) y las operaciones (métodos) necesarios para manipular los datos.
- El *cuerpo* define los métodos, es decir, implementa la *especificación*.

Estructura de un tipo de objeto...

En la figura se representa la estructura de un tipo de objeto:



- Toda la información que un cliente necesita para utilizar los métodos se encuentra en la especificación.
- Es conveniente pensar en la especificiación como en la interface operacional y en el cuerpo como en una *caja negra*.
- Esto permite depurar, mejorar o reemplazar el cuerpo sin necesidad de modificar la especificación y sin afectar, por tanto, a las aplicaciones cliente.

Características:

- En una especificación de tipo de objeto los atributos deben declararse antes que cualquiera de los métodos.
- Si una especificación de tipo sólo declara atributos, el cuerpo es innecesario.
- Todas las declaraciones en la especificación del tipo son públicas. Sin embargo, el cuerpo puede contener declaraciones privadas, que definen métodos internos del tipo de objeto.
- El ámbito de las declaraciones privadas es local al cuerpo del objeto.

Ejemplo:

Un tipo de objeto para manipular números complejos. Un número complejo se representa mediante dos números reales (parte real y parte imaginaria respectivamente) y una serie de operaciones asociadas:

```
CREATE TYPE Complex AS OBJECT (
    rpart     REAL,
    ipart     REAL,
    MEMBER FUNCTION plus  (x Complex) RETURN Complex,
    MEMBER FUNCTION less  (x Complex) RETURN Complex,
    MEMBER FUNCTION times (x Complex) RETURN Complex,
    MEMBER FUNCTION divby (x Complex) RETURN Complex
);
/
CREATE TYPE BODY Complex AS
    MEMBER FUNCTION plus  (x Complex) RETURN Complex IS
    BEGIN
       RETURN Complex(rpart + x.rpart, ipart + x.ipart);
    END plus;
    MEMBER FUNCTION less  (x Complex) RETURN Complex IS
    BEGIN
       RETURN Complex(rpart - x.rpart, ipart - x.ipart);
    END less;
    MEMBER FUNCTION times (x Complex) RETURN Complex IS
    BEGIN
       RETURN Complex(rpart * x.rpart - ipart * x.ipart,
                      rpart * x.ipart + ipart * x.rpart);
    END times;
    MEMBER FUNCTION divby (x Complex) RETURN Complex IS
       z REAL := x.rpart**2 + x.ipart**2;
    BEGIN
       RETURN Complex((rpart * x.rpart + ipart * x.ipart) / z,
                      (ipart * x.rpart - rpart * x.ipart) / z);
    END divby;
END;
/
```

Componentes de un tipo de objeto

- Un tipo de objeto encapsula datos y operaciones, por lo que en la especificación sólo se pueden declarar atributos y métodos, pero no constantes, excepciones, cursores o tipos.
- Se requiere al menos un atributo y los métodos son opcionales.

Atributos

1. Como las variables, un atributo se declara mediante un nombre y un tipo.
2. El nombre debe ser único dento del tipo de objeto (aunque puede reutilizarse en otros objetos)
3. El tipo puede ser cualquier tipo de Oracle excepto:
   - `LONG` y `LONG RAW`.
   - `NCHAR`, `NCLOB` y `NVARCHAR2`.
   - `MLSLABEL` y `ROWID`.
   - Los tipos específicos de PL/SQL: `BINARY_INTEGER` (y cualquiera de sus subtipos), `BOOLEAN`, `PLS_INTEGER`, `RECORD`, `REF CURSOR`, `%TYPE` y `%ROWTYPE`.
   - Los tipos definidos en los paquetes PL/SQL.
4. Tampoco se puede inicializar un atributo en la declaración empleando el operador de asignación o la claúsula `DEFAULT`.
5. Del mismo modo, no se puede imponer la restricción `NOT NULL`.
6. Sin embargo, los objetos se pueden almancenar en tablas de la base de datos en las que sí es posible imponer restricciones.

Atributos...

Las estructuras de datos pueden llegar a ser muy complejas:

- El tipo de un atributo puede ser otro tipo de objeto (denominado entonces tipo de objeto anidado).
- Esto permite construir tipos de objeto complejos a partir de objetos simples.
- Algunos objetos, tales como colas, listas y árboles son dinámicos (pueden crecer a medida que se utilizan).
- También es posible definir modelos de datos sofisticados utilizando tipos de objeto recursivos, que contienen referencias directas o indirectas a ellos mismos.

Métodos

Un método es un subprograma declarado en una especificación de tipo mediante la palabra clave `MEMBER`.

- El método no puede tener el mismo nombre que el tipo de objeto ni el de ninguno de sus atributos.
- Muchos métodos constan de dos partes: especificación y cuerpo.
  - La **especificación** consiste en el nombre del método, una lista opcional de parámetros y en el caso de funciones un tipo de retorno.
  - El **cuerpo** es el código que se ejecuta para llevar a cabo una operación específica.
- Para cada especificación de método debe existir el cuerpo del método.
- El PL/SQL compara la especificación del método y el cuerpo *token* a *token*, por lo que las cabeceras deben coincidir.
- Los métodos pueden hacer referencia a los atributos y a los otros métodos sin cualificador:

```
CREATE TYPE Stack AS OBJECT (
    top INTEGER,
    MEMBER FUNCTION full RETURN BOOLEAN,
    MEMBER FUNCTION push (n IN INTEGER),
    ...
);
/
CREATE TYPE BODY Stack AS
    ...
    MEMBER FUNCTION push (n IN INTEGER) IS
    BEGIN
        IF NOT full THEN
            top := top + 1;
            ...
    END push;
END;
/
```


El parámetro `SELF`

- Todos los métodos de un tipo de objeto aceptan como primer parámetro una instancia predefinida del mismo tipo denominada `SELF`.
- Independientemente de que se declare implicita o explícitamente, `SELF` es siempre el primer parámetro pasado a un método.

Por ejemplo, el método `transform` declara `SELF` como un parámetro `IN OUT`:

```
CREATE TYPE Complex AS OBJECT (
   MEMBER FUNCTION transform (SELF IN OUT Complex) ...
```

El modo de acceso de `SELF` cuando no se declara explícitamente es:

- En funciones miembro el acceso de `SELF` es `IN`.
- En procedimientos, si `SELF` no se declara, su modo por omisión es `IN OUT`.

En el cuerpo de un método, `SELF` denota al objeto a partir del cual se invocó el método.

El parámetro SELF...

Los métodos pueden hacer referencia a los atributos de SELF sin necesidad de utilizar un cualificador:

```
CREATE FUNCTION gcd (x INTEGER, y INTEGER) RETURN INTEGER AS
-- Encuentra el máximo común divisor de x e y
   ans INTEGER;
BEGIN
   IF x < y THEN ans := gcd(x,y);
   ELSE ans := gcd(y, x MOD y);
   ENDIF;
   RETURN ans;
END;
/

CREATE TYPE Rational AS
   num INTEGER,
   den INTEGER,
   MEMBER PROCEDURE normalize,
   ...
);
/

CREATE TYPE BODY Rational AS
   MEMBER PROCEDURE normalize IS
      g INTEGER;
   BEGIN
      -- Estas dos sentencias son equivalentes
      g := gcd(SELF.num, SELF.den);
      g := gcd(num, den);
      num := num / g;
      den := den / g;
   END normalize;
   ...
END;
/
```


Sobrecarga

- Los métodos del mismo tipo (funciones y procedimientos) se pueden sobrecargar: es posible utilizar el mismo nombre para métodos distintos si sus parámetros formales difieren en número, orden o tipo de datos.
- Cuando se invoca uno de los métodos, el PL/SQL encuentra el cuerpo adecuado comparando la lista de parámetros actuales con cada una de las listas de parámetros formales.

La operación de sobrecarga no es posible en las siguientes circunstancias:

- Si los parámetros formales difieren sólo en el modo.
- Si las funciones sólo difieren en el tipo de retorno.

Métodos MAP y ORDER

Los valores de un tipo escalar, como CHAR o REAL, tienen un orden predefinido que permite compararlos.

Las instancias de un objeto carecen de un orden predefinido. Para ordenarlas, el PL/SQL invoca a un método de MAP definido por el usuario.

En el siguiente ejemplo, la palabra clave MAP indica que el método convert ordena los objetos Rational proyectándolos como números reales:

```
CREATE TYPE Rational AS OBJECT (
    num INTEGER,
    den INTEGER,
    MAP MEMBER FUNCTION convert RETURN REAL,
    ...
);
/
CREATE TYPE BODY Rational AS
    MAP MEMBER FUNCTION convert RETURN REAL IS
    -- Convierte un numero racional en un real
    BEGIN
        RETURN num / den;
    END convert;
    ...
END;
/
```

- El PL/SQL usa esta función para evaluar expresiones booleanas como x > y y para las comparaciones implícitas que requieren las claúsulas DISTINCT, GROUP BY y ORDER BY.
- Un tipo de objeto puede contener sólo una función de MAP, que debe carecer de parámetros y debe devolver uno de los siguientes tipos escalares: DATE, NUMBER, VARCHAR2 y cualquiera de los tipos ANSI SQL (como CHARACTER o REAL).

Métodos MAP y ORDER...

Alternativamente, es posible definir un método de ordenación (ORDER). Un método ORDER utiliza dos parámetros: el parámetro predefinido SELF y otro objeto del mismo tipo. En el siguiente ejemplo, la palabra clave ORDER indica que el método match compara dos objetos.

Ejemplo:

c1 y c2 son objetos del tipo Customer. Una comparación del tipo c1 > c2 invoca al método match automáticamente. El método devuelve un número negativo, cero o positivo (SELF es menor, igual o mayor que el otro parámetro):

```
CREATE TYPE Customer AS OBJECT (
    id    NUMBER,
    name VARCHAR2(20),
    addr VARCHAR2(30),
    ORDER MEMBER FUNCTION match (c Customer) RETURN INTEGER
);
/

CREATE TYPE BODY Customer AS
    ORDER MEMBER FUNCTION match (c Customer) RETURN INTEGER IS
    BEGIN
        IF id < c.id THEN
            RETURN -1;    -- Cualquier número negativo vale.
        ELSEIF id > c.id THEN
            RETURN 1;     -- Cualquier número positivo vale.
        ELSE
            RETURN 0;
        END IF;
    END;
END;
/
```

Un tipo de objeto puede contener un único método ORDER, que es

una función que devuelve un resultado numérico.

Métodos `MAP` y `ORDER`...

Es importante tener en cuenta los siguientes puntos:

- Un método `MAP` proyecta el valor de los objetos en valores escalares. Un método `ORDER` compara el valor de un objeto con otro.
- Se puede declarar un método `MAP` o un método ORDER, pero no ambos.
- Si se declara uno de los dos métodos, es posible comparar objetos en SQL o en un procedimiento. Si no se declara ninguno, sólo es posible comparar la igualdad o desigualdad de dos objetos y sólo en SQL. Dos objeto sólo son iguales si los valores de sus atributos son iguales.
- Cuando es necesario ordenar un número grande de objetos es mejor utilizar un método `MAP` (ya que una llamada por objeto proporciona una proyección escalar que es más fácil de ordenar). `ORDER` es menos eficiente: debe invocarse repetidamente ya que compara sólo dos objetos cada vez.

Constructores

- Cada tipo de objeto tiene un constructor: función definida por el sistema con el mismo nombre que el objeto. Se utiliza para inicializar y devolver una instancia de ese tipo de objeto.
- Oracle genera un constructor por omisión para cada tipo de objeto. Los parámetros del constructor coinciden con los atributos del tipo de objeto: los parámetros y los atributos se declaran en el mismo orden y tienen el mismo nombre y tipo.
- PL/SQL nunca invoca al constructor implícitamente: el usuario debe invocarlo explícitamente.

Pragma `RESTRIC_REFERENCES`

Para ejecutar una sentencia SQL que invoca a una función miembro, Oracle debe conocer el *nivel de pureza* de la función: la medida en que la función está libre de efectos colaterales.

Los efectos colaterales pueden impedir:

- La paralelización de una consulta.
- Dar lugar a resultados dependientes del orden (y por tanto indeterminados).
- Requerir que un módulo mantenga un cierto estado entre diferentes sesiones de usuario.

Una función miembro debe cumplir las siguientes características:

- No puede insertar, actualizar o borrar las tablas de la base de datos.
- No se puede ejecutar en paralelo o remotamente si lee o escribe los valores de una variable en un módulo.
- No puede escribir una variable de un módulo excepto si se invoca desde una claúsula `SELECT`, `VALUES` o `SET`.
- No puede invocar a otro método o subprograma que rompa alguna de las reglas anteriores. Tampoco puede hacer referencias a una vista que imcumpla estas reglas.

Pragma `RESTRIC_REFERENCES...`

- La directiva de compilación `PRAGMA_REFERENCES` se utiliza para forzar las reglas anteriores.
- La sentencia `PRAGMA` indica al compilador PL/SQL que debe denegar a la función miembro el acceso a las tablas de la base de datos, variables de un paquete o ambos.
- La sentencia pragma se codifica después del método sobre el que actúa en la especificación del tipo de objeto.

Sintáxis:

```
PRAGMA RESTRICT_REFERENCES ({DEFAULT | nombre_método},
{RNDS | WNDS | RNPS | WNPS}[,{RNDS | WNDS | RNPS | WNPS}]...)
```

Ejemplo:

La siguiente sentencia pragma impide al método de `MAP convert`:

- Leer el estado de la base de datos (*Read No Database State*).
- Modificar el estado de la base de datos (*Write No Database State*)
- Leer el estado de un paquete o módulo (*Read No Package State*).
- Modificar el estado de un paquete (*Write No Package State*):

```
CREATE TYPE Rational AS OBJECT (
 num INTEGER,
 den INTEGER,
 MAP MEMBER FUNCTION convert RETURN REAL,
 ...
 PRAGMA RESTRICT_REFERENCES (convert,RNDS,WNDS,RPNS,WNPS)
);
/
```

Un método sólo se puede invocar en consultas paralelas si se indican las cuatro limitaciones anteriores.

Pragma `RESTRIC_REFERENCES...`

Si se utiliza la palabra clave `DEFAULT` en lugar del nombre del método, la sentencia pragma se aplica a todas las funciones miembro incluído el constructor definido por el sistema.

Ejemplo:

La siguiente sentencia pragma limita a todas las funciones miembro la modificación del estado de la base de datos o de los paquetes:

```
PRAGMA RESTRICT_REFERENCES (DEFAULT, WNDS, WNPS)
```

Es posible declarar un pragma para cada función miembro, que predomina sobre cualquier pragma por omisión definido para el objeto.

Declaración e inicialización de objetos

Una vez que se ha definido un tipo de objeto y se ha instalado en el esquema de la base de datos, es posible usarlo en cualquier bloque PL/SQL.

- Las instancias de los objetos se crean en tiempo de ejecución.
- Estos objetos siguen las reglas normales de ámbito y de instanciación.
  - En un bloque o subprograma, los objetos locales son instanciados cuando se entra en el bloque o subproprograma y dejan de existir cuando se sale.
  - En un paquete, los objetos se instancian cuando se referencia por primera vez al paquete y dejan de existir cuando finaliza la sesión.

Declaración de objetos

- Los tipos de objetos se declaran del mismo modo que cualquier tipo interno.

  Ejemplo:

  En el bloque que sigue se declara un objeto `r` de tipo `Racional` y se invoca al constructor para asignar su valor. La llamada asigna los valores 6 y 8 a los atributos `num` y `den` respectivamente:

```
DECLARE
  r  Racional;
BEGIN
  r := Racional(6, 8);
  DBMS_OUTPUT.PUT_LINE(r.num); -- muestra 6
```

- También es posible declarar objetos como parámetros formales de funciones y procedimientos, de modo que es posible pasar objetos a los subprogramas almacenados y de un subprograma a otro.

  Ejemplos:

  1. Aquí se emplea un objeto de tipo `Account` para especificar el tipo de dato de un parámetro formal:

```
DECLARE
  ...
  PROCEDURE open_acct (new_acct IN OUT Account) IS ...
```

  2. En el siguiente ejemplo se declara una función que devuelve un objeto de tipo `Account`:

```
DECLARE
  ...
  FUNCTION get_acct (acct_id IN INTEGER)
    RETURN Account IS ...
```

Inicialización de objetos

- Hasta que se inicializa un objeto, invocando al constructor para ese tipo de objeto, el objeto se dice que es *Atómicamente nulo*: El propio objeto es nulo, no sólo sus atributos.
- Un objeto nulo siempre es diferente a cualquier otro objeto. De hecho, la comparación de un objeto nulo con otro objeto siempre resulta `NULL`.
- Si se asigna un objeto con otro objeto atómicamente nulo, el primero se convierte a su vez en un objeto atómicamente nulo (y para poder utilizarlo debe ser reinicializado).
- En general, si asignamos el no-valor `NULL` a un objeto, éste se convierte en atómicamente nulo

Ejemplo:

```
DECLARE
  r Racional;
BEGIN
  r Racional := Racional(1, 2); -- r = 1/2
  r := NULL; -- r atómicamente nulo
  IF r IS NULL THEN ... -- la condición resulta TRUE
```

Una buena práctica de programación consiste en inicializar los objetos en su declaración, como se muestra en el siguiente ejemplo:

```
DECLARE
  r Racional := Racional(2, 3); -- r = 2/3
```


Objetos sin inicializar en PL/SQL

PL/SQL se comporta del siguiente modo cuando accede a objetos sin inicializar:

- Los atributos de un objeto no inicializado se evalúan en cualquier expresión como `NULL`.
- Intentar asignar valores a los atributos de un objeto sin inicializar provoca la excepción predefinida `ACCESS_INTO_NULL`.
- La operación de comparación `IS NULL` siempre produce `TRUE` cuando se aplica a un objeto no inicializado o a cualquiera de sus atributos.

Existe por tanto, una sutil diferencia entre objetos nulos y objetos con atributos nulos. El siguiente ejemplo intenta ilustrar esa diferencia:

```
DECLARE
  r Relacional; -- r es atómicamente nulo
BEGIN
  IF r IS NULL THEN ... -- TRUE
  IF r.num IS NULL THEN ... -- TRUE
  r := Racional(NULL, NULL); -- Inicializa r
  r.num = 4; -- Exito: r ya no es atómicamente nulo aunque
             -- sus atributos son nulos
  r := NULL; -- r es de nuevo atómicamente nulo
  r.num := 4; -- Provoca la excepción ACCESS_INTO_NULL
EXCEPTION
  WHEN ACCESS_INTO_NULL THEN
    ...
END;
/
```

Objetos sin inicializar en PL/SQL...

La invocación de los métodos de un objeto no inicializado está permitida, pero en este caso:

- `SELF` toma el valor `NULL`.
- Cuando los atributos de un objeto no inicializado se pasan como parámetros `IN`, se evalúan como `NULL`.
- Cuando los atributos de un objeto no inicializado se pasan como parámetros `OUT` o `IN OUT`, se produce una excepción si se intenta asignarles un valor.

Acceso a los atributos

Para acceder o cambiar los valores de un atributo se emplea la notación punto ('.'):

```
DECLARE
    r Racional := Racional(NULL, NULL);
    numerador INTEGER;
    denominador INTEGER;
BEGIN
    ...
    denominador := r.den;
    r.num = numerador;
```


Acceso a los atributos...

Los nombres de los atributos pueden encadenarse, lo que permite acceder a los atributos de un tipo de objeto anidado. Por ejemplo, supongamos que definimos los tipos de objeto `Address` y `Student` como sigue:

```
CREATE TYPE Address AS OBJECT (
    street    VARCHAR2(30),
    city      VARCHAR2(20),
    state     CHAR(2),
    zip_code  VARCHAR2(5)
);
/

CREATE TYPE Student AS OBJECT (
    name          VARCHAR2(20),
    home_address  Address,
    phone_number  VARCHAR2(10),
    status        VARCHAR2(10),
   advisor_name VARCHAR2(20),
    ...
);
/
```

- `zip_code` es un atributo de tipo `Address`
- `Address` es el tipo de dato del atributo `home_address` del tipo de objeto `Student`.

Si `s` es un objeto `Student`, para acceder al valor de su `zip_code` se emplea la siguiente notación:

```
s.home_address.zip_code
```

Invocación de constructores y métodos

- La invocación de un constructor está permitida en cualquier punto en donde se puede invocar una función.
- Como las funciones, un constructor se invoca como parte de una expresión.

```
DECLARE
   r1 Racional := Racional(2, 3);
   FUNCTION average (x Racional, y Racional)
      RETURN Racional IS
   BEGIN
      ...
   END;
BEGIN
   r1 := average(Racional(3, 4), Racional(7, 11));
   IF (Racional(5, 8) > r1) THEN
      ...
   END IF;
END;
/
```

Paso de parámetros a un constructor

- Cuando se pasan parámetros a un constructor la invocación asigna valores iniciales a los atributos del objeto que se está instanciando.
- Es necesario suministrar parámetros para cada uno de los atributos ya que, a diferencia de las constantes y variables, los atributos carecen de la claúsula `DEFAULT`.
- También es posible invocar al constructor utilizando la notación con nombre en lugar de la notación posicional, como se muestra:

```
BEGIN
```



```
r := Racional(den => 6, num => 5);
-- asigna num = 5 y den = 6
```

Invocación de métodos

- Los métodos se invocan usando la notación punto.
  Ejemplo: invocación del método `normaliza` que divide los atributos `num` y `den` por el mayor común divisor:

```
DECLARE
    r Racional;
BEGIN
    r := Racional(6, 8);
    r.normaliza;
    DBMS_OUTPUT.PUT_LINE(r.num); -- muestra 3
```

- Es posible encadenar las llamadas a los métodos:

```
DECLARE
    r Racional := Racional(6, 8);
BEGIN
    r.reciproco().normaliza;
    DBMS_OUTPUT.PUT_LINE(r.num); -- muestra 4
```

  La ejecución se realiza de izquierda a derecha: primero se invoca la función `reciproco` y después la función `normaliza`.

- En las sentencias SQL la invocación de un métodos sin parámetros requiere la lista vacia de parámetros: '()'.
- En sentencias de procedimiento la lista vacia de parámetros es opcional, excepto cuando se encadenan llamadas: es obligatoria para todas las llamadas excepto la última.
- No es posible encadenar invocaciones a métodos adicionales a la derecha de la invocación de un procedimiento (los procedimientos no son parte de una expresión). La siguiente sentencia es ilegal:

```
r.normaliza().reciproco; -- ilegal
```

- Cuando se encadenan dos llamadas a función, el resultado de la primera función debe ser un objeto que puede ser pasado a la segunda función.

Compartición de objetos

La mayoría de los objetos del mundo real son considerablemente más grandes y complejos que el tipo `Relacional`. Por ejemplo, consideremos los siguientes tipos de objeto:

```
CREATE TYPE Address AS OBJECT (
    street_address VARCHAR2(35),
    city           VARCHAR2(15),
    state          CHAR(2),
    zip_code       INTEGER
);
/

CREATE TYPE Person AS OBJECT (
    first_name    VARCHAR2(15),
    last_name     VARCHAR2(15),
    birthday      DATE,
    home_address  Address, -- Objeto anidado
    phone_number VARCHAR2(15),
    ss_number     INTEGER
    ...
);
/
```

- Los objetos de tipo `Address` tienen más del doble de atributos que los del tipo `Relacional` y los objetos de tipo `Person` todavía tienen más atributos, incluyendo uno de tipo `Address`.
- Cuando se utilizan objetos grandes, resulta ineficiente pasar copias de él entre subprogramas. En estas circunstancias tiene más sentido compartir el objeto.
- Esto se puede hacer si el objeto cuenta con un identificador de objeto.
- Para compartir objetos se utilizan referencias (`refs` de forma abreviada). Una `ref` es un puntero al objeto.

Compartición de objetos...

La compartición de objetos proporciona dos ventajas importantes:

- La información no se duplican innecesariamente.
- Cuando se actualiza un objeto compartido, el cambio se produce sólo en un lugar y cualquier referencia al objeto puede recuperar los valores actualizados inmediatamente.

En el ejemplo siguiente, obtenemos las ventajas de la compartición definiendo el tipo de objeto `Home` y creando una tabla que almacena las instancias de ese tipo:

```
CREATE TYPE Home AS OBJECT (
    address     VARCHAR2(35),
    owner       VARCHAR2(25),
    age         INTEGER,
    style       VARCHAR(15),
    floor_plan  BLOB,
    price       REAL(9,2),
    ...
);
/

...
CREATE TABLE homes OF Home;
```


Utilización de referencias

Revisando la definición anterior del objeto de tipo `Person`, observamos que podemos diseñar una comunidad que puede compartir la misma casa (`Home`).

```
CREATE TYPE Person AS OBJECT (
    first_name    VARCHAR2(15),
    last_name     VARCHAR2(15),
    birthday      DATE,
    home_address REF Home, -- Compartido con la familia
    phone_number VARCHAR2(15),
    ss_number     INTEGER
    mother        REF Person, -- Miembros de la familia
    father        REF Person,
    ...
);
/
```

Note cómo las referencias entre `Person` y `Homes` y entre `Person` entre sí definen relaciones que se dan en el mundo real.

- Es posible declarar referencias como variables, parámetros, campos o atributos.
- Se pueden utilizar referencias como parámetros `IN` y `OUT` en funciones y procedimientos.
- Pero mo es posible navegar a través de referencias.

  Ejemplo: un intento ilegal de navegar a través de una referencia a un objeto:

  ```
  DECLARE
      p_ref     REF Person;
      phone_no VARCHAR2(15);
  BEGIN
      ...
      phone_no = p_ref.phone_number; -- Ilegal!
  ```

  Para llevar a cabo esta operación es necesario utilizar el operador `DEREF`, a través del cual se puede acceder al objeto.

Limitaciones en la definición de tipos

En la creación de un tipo sólo se puede hacer referencia a objetos que ya existan en el esquema de objetos.

En el siguiente ejemplo la primera sentencia `CREATE TYPE` es ilegal porque hace referencia al objeto de tipo `Departament` que todavía no existe:

```
CREATE TYOE Employee AS OBJECT (
    name VARCHAR2(20),
    dept REF Departament, -- Ilegal!
    ...
);
/

CREATE TYPE Departament AS OBJECT (
    number  INTEGER,
    manager REF Employee,
    ...
);
/
```

Cambiar el orden de las sentencias `CREATE TYPE` no soluciona el problema, ya que ambos tipos son mutuamente dependientes.

Limitaciones en la definición de tipos...

Para resolver el problema se utiliza una sentencia `CREATE TYPE` especial denominada *definición previa de tipo*, que permite la creación de tipos de objetos mutuamente dependientes.

```
CREATE TYPE Departament; -- Definición previa de tipo
-- En este punto, Departament es un tipo de objeto incompleto
```

- El tipo creado mediante una definición previa de tipo se denomina *tipo de objeto incompleto* ya que carece de atributos y métodos hasta que se defina en su totalidad.
- Un tipo incompleto *impuro* cuenta con atributos, pero compila con errores semántico (no sintácticos) al hacer referencia a un tipo indefinido. Por ejemplo, la siguiente sentencia `CREATE TYPE` compila con errores debido a que el tipo de objeto `Address` todavía no está definido:

  ```
  CREATE TYPE Customer AS OBJECT (
      id     NUMBER,
      name   VARCHAR2(20),
      addr   Address, -- todavía indefinido
      phone  VARCHAR2(15)
  );
  /
  ```

- Esto permite retrasar la definición del tipo de objeto `Address`. Más aún, las referencias al tipo incompleto `Customer` están disponibles para otras aplicaciones.

Manipulación de objetos

- Es posible utilizar un tipo de objeto en una sentencia `CREATE TABLE` para especificar el tipo de una columna.
- Una vez que la tabla se ha creado, se pueden utilizar las sentencias SQL para insertar un objeto, seleccionar sus atributos, invocar los métodos definidos y actualizar su estado.

Ejemplos:

1. La sentencia `INSERT` invoca al constructor del tipo `Racional` para insertar su valor. La sentencia `SELECT` recupera el valor del atributo `num` y la sentencia `UPDATE` invoca al método `reciproco`, que devuelve un valor `Relacional` después de invertir los valores de `num` y `den`. Observe que se requiere un alias de la tabla cuando se hace referencia a un atributo o método.

```
CREATE TABLE numbers (rn Racional, ...);
INSERT INTO numbers (rn) VALUES (Racional(3, 62));
SELECT n.rn.num INTO my_num FROM numbers n WHERE ...
UPDATE numbers n SET n.rn = n.rn.reciproco WHERE ...
```

   Cuando se crea un objeto de este modo, carece de identidad fuera de la tabla de la base de datos.

2. En el siguiente ejemplo se crea una tabla que almacena en sus filas objetos del tipo `Relacional`. Este tipo de tablas, cuyas filas contienen un tipo de objetos, se denominan *tablas de objetos*. Cada columna en una fila se corresponde con un atributo del tipo de objeto:

```
CREATE TABLE racional_nums OF Racional;
```

   Cada fila en una tabla de objetos cuenta con un *identificador de objeto*, que identifica de forma unívoca al objeto almacenado en dicha fila y sirve como una refencia al objeto.

Selección de objetos

Supongamos que ejecutamos el siguiente *script* de SQL*Plus, que crea un tipo de objeto denominado `Person` y una tabla de objetos `persons` junto con algunos valores:

```
CREATE TYPE Person AS OBJECT (
    first_name    VARCHAR2(15),
    last_name     VARCHAR2(15),
    birthday      DATE,
    home_address  Address,
    phone_number VARCHAR2(15),
);
/
CREATE TABLE persons OF Person;
/
```

La siguiente subconsulta produce como resultado un conjunto de filas que contienen sólo atributos de los objetos `Person`:

```
BEGIN
    INSERT INTO employees
        -- emplyees es otra tabla de objetos de tipo Person
        SELECT * FROM persons p
            WHERE p.last_name LIKE '%smith';
```

El operador `VALUE`

- El comando `VALUE` devuelve el valor de un objeto.
- `VALUE` requiere como argumento una *variable de correlación* (en este contexto, *variable de correlación* es una fila o alias de tabla asociado a una fila en una tabla de objetos).

Ejemplos:

1. Para obtener un conjunto de objetos `Person` se puede utilizar el comando `VALUES` del siguiente modo:

```
BEGIN
  INSERT INTO employees
    SELECT VALUE(p) FROM persons p
      WHERE p.last_name LIKE '%smith'
```

2. En el siguiente ejemplo, se utiliza el operador `VALUE` para obtener un objeto `Person` específico:

```
DECLARE
  p1 PERSON;
  p2 PERSON;
BEGIN
  SELECT VALUE(p) INTO p1 FROM persons p
    WHERE p.last_name = 'Kroll';
  p2 := p1;
  ...
END;
```

   Después de ejecutar la consulta SQL, la variable `p1` contiene un objeto `Person` local, que es una copia del objeto almacenado en la tabla `persons`. Del mismo modo, `p2` contiene otra copia local del objeto.

3. Es posible utilizar las variables anteriores para acceder y modificar el objeto que contienen:


```
BEGIN
  p1.last_name := p1.last_name || 'Jr';
```

El operador REF

- El operador `REF` se utiliza para obtener una referencia a un objeto.
- Como el operador `VALUE`, toma como argumento una variable de correlación.

Ejemplos:

1. En el siguiente ejemplo, primero se recuperan una o más referencias a objetos de tipo `Person` y después se insertan en la tabla `person_refs`:

```
BEGIN
  INSERT INTO person_refs
    SELECT REF(p) FROM persons p
      WHERE p.last_name LIKE '%smith';
```

2. En el siguiente ejemplo se obtienen simultáneamente una referencia y un atributo:

```
DECLARE
  p_ref       REF Person;
  taxpayer_id VARCHAR2(9);
BEGIN
  SELECT REF(p), p.ss_number INTO p_ref, taxpayer_id
    FROM persons p
    WHERE p.last_name = 'Parker'; -- sólo una fila
  ...
END;
```


El operador REF...

3. En este último ejemplo, se actualizan los atributos de un objeto `Person`:

```
DECLARE
  p_ref         REF Person;
  my_last_name VARCHAR2(15);
  ...
BEGIN
  ...
  SELECT REF(p) INTO p_ref FROM persons p
    WHERE p.last_name = my_last_name;
  UPDATE persons p
    SET p = Person('Jill', 'Anders', '11-NOV-67', ...)
    WHERE REF(p) = p_ref;
END;
```

Referencias colgadas (*dangling refs*)

- Si el objeto al cual apunta una referencia es borrado, la referencia queda "colgada" (*dangling*, apuntando a un objeto inexistente).
- Para comprobar si se produce esta condición se puede utilizar el predicado SQL `IS DANGLING`.

Ejemplo:

Supongamos que la columna `manager` en la tabla relacional `department` contiene referencias a objetos `Employee` almacenados en una tabla de objetos. Para convertir todas las referencias colgadas en nulos, podemos utilizar la siguiente sentencia `UPDATE`:

```
BEGIN
  UPDATE department SET manager = NULL
    WHERE manager IS DANGLING;
```

El operador DEREF

- No es posible navegar a través de referencias en procedimientos SQL. Para esto es necesario utilizar el operador `DEREF` (abreviatura del término inglés *dereference*: derreferenciar un puntero es obtener el valor al cual apunta).
- `DEREF` toma como argumento una referencia a un objeto y devuelve el valor de dicho objeto. Si la referencia está colgada, `DEREF` devuelve el valor `NULL`.

Ejemplos:

1. En el ejemplo que sigue se derreferencia una referencia a un objeto `Person`. En estas circunstancias, no es necesario especificar una tabla de objetos ni un criterio de búsqueda ya que cada objeto almacenado en una tabla de objetos cuenta con un identificador de objeto único e inmutable que es parte de cada referencia a un objeto.

```
DECLARE
  p1     Person;
  p_ref REF Person;
  name  VARCHAR2(15);
BEGIN
  ...
  /* Supongamos que p_ref contiene una referencia válida
     a un objeto almacenado en una tabla de objetos */
  SELECT DEREF(p_ref) INTO p1 FROM DUAL;
  name := p1.last_name;
```


El operador DEREF...

2. Es posible utilizar el operador `DEREF` en sentencias SQL sucesivas para derreferencias referencias, como se muestra en el siguiente ejemplo:

```
CREATE TYPE PersonRef AS OBJECT (p_ref REF Person);
/
DECLARE
  name   VARCHAR2(15);
  pr_ref REF PersonRef;
  pr     PersonRef;
  p      Person;
BEGIN
  ...
  /* Supongamos que pr_ref contiene
     una referencia válida */
  SELECT DEREF(pr_ref) INTO pr FROM DUAL;
  SELECT DEREF(pr.p_ref) INTO p FROM DUAL;
  name := p.last_name;
  ...
END;
/
```

3. En procedimientos SQL la utilización del operador `DEREF` es ilegal. En sentencias SQL se puede utilizar la notación punto para navegar a través de referencias. Por ejemplo, la siguiente sentencia es legal:

```
table_alias.object_column.ref_attribute
table_alias.object_column.ref_attribute.attribute
table_alias.ref_column.attribute
```

El operador `DEREF`...

4. Supongamos ahora que ejecutamos el siguiente *script* SQL*Plus que crea los tipos de objeto `Address` y `Person` y la tabla de objetos `persons`:

```
CREATE TYPE Address AS OBJECT (
    street_address VARCHAR2(35),
    city           VARCHAR2(15),
    state          CHAR(2),
    zip_code       INTEGER
);
/
CREATE TYPE Person AS OBJECT (
    first_name    VARCHAR2(15),
    last_name     VARCHAR2(15),
    birthday      DATE,
    home_address  Address,
    phone_number VARCHAR2(15),
);
/
CREATE TABLE persons OF Person;
/
```

   El atributo `home_address` es una referencia a una columna en la tabla de objetos `persons`, que a su vez contiene referencias a objetos `Address` almacenados en otra tabla indeterminada.

   Tras introducir algunos elementos en la tabla, es posible obtener una dirección particular derreferenciando su referencia, como se muestra en el siguiente ejemplo:

```
DECLARE
  addr1 Address,
  addr2 Address,
  ...
BEGIN
  SELECT DEREF(home_address) INTO addr1 FROM persons p
    WHERE p.last_name = 'Derringer';
```


El operador `DEREF`...

5. Por último, en este ejemplo se navega a través de la columna de referencias `home_address` hasta el atributo `street`. En este caso se requiere un alias a la tabla:

```
DECLARE
  my_street VARCHAR2(25),
  ...
BEGIN
  SELECT p.home_address.street INTO my_street
    FROM persons p
    WHERE p.last_name = 'Lucas';
```

Inserción de objetos

Para añadir objetos a una tabla de objetos se utiliza el comando `UPDATE`.

Ejemplos:

1. Para insertar un objeto `Person` en la tabla de objetos `persons` utilizamos la siguiente línea:

```
BEGIN
  INSERT INTO persons
    VALUES ('Jenifer', 'Lapidus', ...);
```

2. Alternativamente, es posible utilizar el constructor para el objeto de tipo `Person`:

```
BEGIN
  INSERT INTO persons
    VALUES (Person('Albert', 'Brooker', ...));
```

Inserción de objetos...

3. En el siguiente ejemplo, se utiliza la claúsula `RETURNING` para almacenar una referencia a `Person` en una variable local. Es importante destacar como esta claúsula simula una sentencia `SELECT`. La claúsula `RETURNING` se puede utilizar también en sentencias `UPDATE` y `DELETE`.

```
DECLARE
  p1_ref REF Person,
  p2_ref REF Person,
  ...
BEGIN
  INSERT INTO persons p
    VALUES (Person('Paul', 'Chang', ...))
    RETURNING REF(p) INTO p1_ref;
  INSERT INTO persons p
    VALUES (Person('Ana', 'Thorne', ...))
    RETURNING REF(p) INTO p2_ref;
```

4. Para insertar objetos en una tabla de objetos se puede utilizar una consulta que devuelva un objeto del mismo tipo, como se muestra en el siguiente ejemplo:

```
BEGIN
  INSERT INTO persons2
    SELECT VALUE(p) FROM persons p
      WHERE p.last_name LIKE '%Jones';
```

Las filas copiadas a la tabla de objetos `persons2` cuentan con identificadores de objeto nuevos, ya que los identificadores de objeto son únicos.

Inserción de objetos...

5. El siguiente *script* crea la tabla relacional `department` que cuenta con una columna de tipo `Person`; después inserta una fila en la tabla. Es importante destacar cómo el constructor `Person()` proporciona un valor para la columna `manager`:

```
CREATE TABLE department (
  dept_name  VARCHAR2(20),
  manager    Person,
  location   VARCHAR2(20));
/
INSERT INTO department
  VALUES ('Payroll',
          Person('Alan', 'Tsai', ...),
          'Los Angeles');
/
```

El nuevo objeto `Persona` almacenado en la columna `manager` no es referenciable, ya que al estar almacenada en una columna (y no en una fila) carece de identificador de objeto.

Actualización de objetos

Para modificar los atributos de un objeto en una tabla de objetos se utiliza la sentencia `UPDATE`

Ejemplo:

```
BEGIN
  UPDATE persons p SET p.home_address = '341 Oakdene Ave'
    WHERE p.last_name = 'Brody';
  ...
  UPDATE persons p SET p = Person('Beth', 'Steinberg', ...)
    WHERE p.last_name = 'Steinway';
  ...
END;
```

Borrado de objetos

- Para eliminar objetos (filas) de una tabla de objetos se utiliza la sentencia `DELETE`.
- Para eliminar objetos selectivamente se utiliza la claúsula `WHERE`.

Ejemplo:

```
BEGIN
  DELETE FROM persons p
    WHERE p.home_address = '108 Palm Dr';
  ...
END;
```