

timo, el nuevo tipo de restricción es que sólo a los miembros de la facultad de graduados se les permite asesorar a los estudiantes.

Las restricciones de dominio son que EID no debe comenzar con 1, sino con 9 para estudiantes de la facultad para graduados, FID debe comenzar con 1, y EstadodeGradodeFacultad es 0 para la facultad de no graduados y 1 para la facultad de graduados. Con estas definiciones de dominio, la restricción de que los estudiantes deben ser asesorados por los miembros de la facultad para graduados se puede expresar como una restricción en los valores de un renglón. Específicamente, si el EID comienza con 9, el valor de EstadodeGradodeFacultad debe ser 1.

Para poner esta relación en DK/NF procederemos como en el ejemplo 2. ¿Cuáles son los temas básicos de esta relación? Hay uno concerniente al personal de la facultad, que relaciona FID, Fnombre, y el EstadodeGradodeFacultad. Puesto que FID y Fnombre determinan el EstadodeGradodeFacultad, ambos atributos pueden ser la llave y esta relación está en DK/NF (véase la figura 5-17).

Ahora considere los datos con respecto a estudiantes y asesores. Aunque en principio puede parecer que sólo hay un tema, el de asesoría, la restricción de que sólo los miembros de la facultad para graduados pueden asesorar a estudiantes implica otra cosa. En realidad, hay dos temas: asesoramiento a los graduados y asesoría a los no graduados. Así, la figura 5-17 contiene una relación G-ASE (Graduado-Aesor) para estudiantes graduados, y una relación NG-ASE para no graduados. Veamos las definiciones de dominio: EGID comienza con 9; Gfnombre es el Fnombre de un tuple de FACULTAD con EstadodeGradodeFacultad igual a 1; y ENGID no debe empezar con 1 o 9. Todas las restricciones descritas en la figura 5-16 están implícitas en la llave y las definiciones de dominio en la figura 5-17. Estas relaciones están en DK/NF y no tienen anomalías de modificación.

Para resumir, en la figura 5-18 se enumeran las formas normales y se definen las características de cada una.

#### ► FIGURA 5-17

##### Definición de dominio/Clave del ejemplo 3

<u>Definición de dominio</u>	
FID	en CDDD, donde C = 1; D = dígito decimal
Fnombre	en CHAR (30)
EstadodeGradodeFacultad	en {0, 1}
EGID	en CDDD, donde C = 9; D = dígito decimal; estudiante graduado
ENGID	en CDDD, DONDE C ≠ 1 y C ≠ 9; D = dígito decimal; estudiante no graduado
Enombre	en CHAR (30)
<u>Definiciones adicionales de dominio</u>	
Gfnombre	en {Fnombre de FACULTAD, donde EstadodeGradodeFacultad = 1}
<u>Definiciones de relación y llave</u>	
FACULTAD (FID, Fnombre, EstadodeGradodeFacultad)	
Llave: FID o Fnombre	
G-ASESOR (EGID, Enombre, Gfnombre)	
Llave: EGID	
NG-ASESOR (ENGID, Enombre, Fnombre)	
Llave: ENGID	

► FIGURA 5-15

Definición dominio-  
llave del ejemplo 2

#### Definiciones de dominio

FID en CDDD, C = 1; D = dígito decimal  
 Enombre en CHAR(30)  
 Clase en CHAR(10)  
 EID en CDDD, C es dígito decimal, no = 1;  
 D = dígito decimal  
 Enombre en CHAR(30)

#### Definiciones de relación y llave

FACULTAD (FID, Fnombre)  
 Llave (primaria): FID  
 Llave (candidata): Fnombre

PREPARACIÓN (Fnombre, Clase)  
 Llave: Fnombre, Clase

ESTUDIANTE (EID, Enombre, Fnombre)  
 Llave: EID

separar los atributos multivaluados en diferentes relaciones. Nuestro planteamiento aquí es separar una relación con varios temas en varias relaciones que tengan cada una un tema. Al hacer esto eliminamos la dependencia multivaluada. De hecho, llegamos a la misma solución usando ambos planteamientos.

### EJEMPLO 3 DE LA FORMA NORMAL DOMINIO-LLAVE

El siguiente ejemplo se refiere a una situación que no fue tratada por ninguna de las otras formas normales, pero que en la práctica ocurre con frecuencia. Esta relación tiene una restricción entre los valores de los datos dentro de un tuple, la cual no es una dependencia funcional ni una dependencia multivaluada.

Considere las restricciones en la relación ESTUD-ASESOR en la figura 5-16. Contiene información acerca de un estudiante y de su asesor, o asesora. EID determina Enombre, FID, Fnombre y EstadodeGradodeFacultad y por lo tanto es la llave. FID y Fnombre identifican a un miembro de una sola facultad y son equivalentes entre sí, como en el ejemplo 2. Tanto FID como Fnombre determinan el EstadodeGradodeFacultad. Por úl-

► FIGURA 5-16

Ejemplo 3 de DK/NF

#### ESTUD-ASESOR (EID, Enombre, FID, Fnombre, EstadodeGradodeFacultad)

Llave: EID

Restricciones: FID → Fnombre

Fnombre → FID

FID y Fnombre → EstadodeGradodeFacultad

Sólo los miembros de la facultad para graduados pueden asesorar a los estudiantes

FID empieza con 1

EID no debe empezar con 1

EID de estudiantes graduados empieza con 9

EstadodeGradodeFacultad =  $\begin{cases} 0 & \text{para no graduados de la facultad} \\ 1 & \text{para graduados de la facultad} \end{cases}$



► FIGURA 5-14

Ejemplo 2 de DK/NF

PROFESOR (FID, Fnombre, Clase, EID, Snombre)  
 Llave: (FID, Clase, EID)  
 Restricciones: FID → Fnombre  
 Fnombre → FID  
 FID → Clase | EID  
 Fnombre → Clase | EID  
 EID → FID  
 EID → Fnombre  
 EID → Snombre  
 FID debe empezar con 1; EID no debe empezar con 1

que encontrar maneras creativas de hacer que todas las restricciones fueran consecuencias lógicas de las definiciones de dominio y llave. El resultado fue más sólido porque cuando convertimos la relación a 3NF sólo sabíamos que existían menos anomalías que cuando estaba en 2NF. Para convertir la relación a DK/NF sabemos que ésta no tiene anomalías de modificación.

## EJEMPLO 2 DE LA FORMA NORMAL DE DOMINIO-LLAVE

El siguiente ejemplo, más complicado, involucra la relación de la figura 5-14. La relación PROFESOR contiene datos acerca de los profesores, la materia que enseñan y los alumnos que asesoran. FID y Fnombre únicamente identifican a un profesor, y EID sólo a un estudiante, pero Enombre no necesariamente identifica a EID. Los profesores pueden impartir varias materias y asesorar a varios estudiantes, pero un estudiante es asesorado sólo por un profesor. Los FID empiezan con un 1, pero los EID no deben empezar con un 1.

Estas declaraciones se pueden expresar con mayor precisión mediante la dependencia funcional y los valores múltiples que se muestran en la figura 5-14. FID y Fnombre se determinan funcionalmente entre sí (en esencia, son equivalentes). FID y Fnombre multiterminan a Clase y a EID; EID determina funcionalmente a FID y a Fnombre, y EID, a Enombre.

En ejemplos más complicados como este es útil considerar DK/NF desde un punto de vista más intuitivo. Recuerde que la esencia de la normalización es que cada relación puede tener sólo un tema. Si lo consideramos desde esta perspectiva, hay tres temas en PROFESOR. Uno es la correspondencia entre FID y Fnombre; otro se refiere a las clases que el profesor imparte, y el tercero al número de identificación, nombre y asesor de un estudiante determinado.

La figura 5-15 muestra tres relaciones que reflejan esos temas. La relación FACULTAD representa la equivalencia de FID y Fnombre. FID es la llave y Fnombre es una llave alternativa cuyo significado es que ambos atributos son únicos en la relación. Debido a que ambos son llaves, la dependencia funcional FID → Fnombre y Fnombre → FID son consecuencias lógicas de llaves.

La relación PREPARACIÓN contiene la correspondencia de facultad y clases; muestra las materias que un profesor está preparado para impartir. La llave es la combinación (Fnombre, Materia). Se requieren ambos atributos en la llave porque un profesor puede impartir varias materias y una materia puede ser impartida por varios profesores. Por último, ESTUDIANTE representa el nombre del estudiante y del asesor para un EID en particular. Observe que cada una de estas relaciones tiene un tema individual. Éstas expresan todas las restricciones de la figura 5-14 como una consecuencia lógica de las definiciones de dominio y llaves. Estas relaciones están, por lo tanto, en DK/NF.

Observe que separando el tema PREPARACIÓN del tema ESTUDIANTE se han eliminado las dependencias multivaluadas. Cuando examinamos la cuarta forma normal, encontramos que con el fin de eliminar dependencias multivaluadas tuvimos que



► FIGURA 5-12

Ejemplo 1 de DK/NF

ESTUDIANTE (EID, Grado, Edificio, Cuota)

Llave: EID

Restricciones: Edificio  $\rightarrow$  Cuota

EID no debe empezar con el dígito 1

**EJEMPLO 1 DE LA FORMA NORMAL DOMINIO-LLAVE**

Considere la relación ESTUDIANTE en la figura 5-12, la cual contiene atributos EID, Grado, Edificio y Cuota. Edificio es el lugar donde los estudiantes viven y Cuota es la cantidad que pagan por vivir en ese edificio.

EID determina funcionalmente a los otros tres atributos; por lo tanto, EID es una llave. Suponga que también sabemos, con base en la definición de requerimientos, que Edificio  $\rightarrow$  Cuota y que los EID no deben empezar con 1. Si podemos expresar esas restricciones como consecuencias lógicas de dominio y definiciones de llaves, podemos estar seguros que, de acuerdo con el teorema de Fagin, no habrá anomalías de modificación. En el presente ejemplo, esto será fácil.

Para imponer la restricción de que los números de estudiantes no empiecen con 1, sólo definimos el dominio para los números de estudiantes que incorporen esta restricción (figura 5-13). Imponer la restricción de dominio garantiza que se cumplirá.

A continuación necesitamos hacer de la dependencia funcional Edificio  $\rightarrow$  Cuota una consecuencia lógica de las llaves. Si Edificio fuera un atributo de llave, Edificio  $\rightarrow$  Cuota podría ser una consecuencia lógica de una llave. Por lo tanto, la cuestión es cómo convertir Edificio en una llave. No puede haber una llave en ESTUDIANTE porque más de uno viven en el mismo edificio, pero puede ser una llave de su propia relación. Así, definimos la relación EDIF-CUOTA con Edificio y Cuota como sus atributos. Edificio es la llave de esta relación. Una vez definida esta nueva relación, podemos eliminar Cuota de ESTUDIANTE. El dominio final y las definiciones de relación para este ejemplo aparecen en la figura 5-13.

Este es el mismo resultado que obtenemos cuando convertimos una relación de una 2NF a una 3NF para eliminar las dependencias transitivas. Sin embargo, en este caso el proceso fue simple y el resultado más sólido. Resultó más sencillo porque no necesitamos saber que eliminábamos una dependencia transitiva. Simplemente tuvimos

► FIGURA 5-13

Definición de dominio-llave del ejemplo 1

Definiciones de dominio

EID	en	CDDD, donde C es un dígito decimal no = 1; D = dígito decimal
NiveldeGrado	en	{'FR', 'SO', 'JR', 'SN', 'GR'}
Edificio	en	CHAR(4)
Cuota	en	DEC(4)

Definiciones de relación y llave

ESTUDIANTE (EID, NiveldeGrado, Edificio)

Llave: EID

EDIF-CUOTA

(Edificio, Cuota)

Llave: Edificio



Cada una de las formas normales ya analizadas las identificaron aquellos investigadores que encontraron anomalías con algunas relaciones, las cuales estaban en una forma normal más baja: observaron que las anomalías de modificación en las relaciones de la segunda forma normal conducen a la definición de la tercera forma normal, y así sucesivamente. Aunque cada forma normal resuelve alguno de los problemas que han sido identificados con la anterior, nadie puede saber qué problemas aún no han sido detecta-

dos. En cada etapa se ha ido progresando mediante un diseño bien estructurado de bases de datos, pero nadie puede garantizar que no se puedan encontrar más anomalías. En esta sección estudiaremos una forma normal, la cual garantiza que no habrá anomalías de ningún tipo. Cuando planteamos las relaciones de esta manera, sabemos que no pueden ocurrir incluso las anomalías más raras asociadas con la quinta forma normal.

En 1981 Fagin publicó un importante artículo en el que definió la forma normal dominio-llave (DK/NF).<sup>5</sup> Mostró que una relación en DK/NF no tiene anomalías de modificación y, además, que una relación sin anomalías de modificación debe estar en DK/NF. Este hallazgo establece un límite en la definición de las formas normales, y por lo tanto no es necesaria una forma normal más alta, al menos con el fin de eliminar anomalías de modificación.

Igualmente importante es que la DK/NF sólo implica los conceptos de llave y dominio, los cuales son fundamentales y clave para los profesionales de bases de datos. Se apoyan en los productos DBMS (o cuando menos deberían hacerlo). En cierto sentido, el trabajo de Fagin formaliza y justifica lo que muchos profesionales creían intuitivamente, pero no eran capaces de expresar en forma precisa.

### DEFINICIÓN

El concepto DK/NF es muy simple: una relación está en DK/NF si cada restricción en la relación es una consecuencia lógica de la definición de llaves y dominios. Ponga mucha atención en los términos importantes: restricción, llave y dominio.

La **restricción** pretende ser muy extensa. Fagin la define como cualquier regla que gobierna valores estáticos de atributos, la cual es lo suficientemente precisa como para que podamos verificar si es o no verdadera. Las reglas de edición, las restricciones de intrarrelación e interrelación, las dependencias funcionales y la dependencia multivaluada son ejemplos de estas restricciones. Fagin excluye expresamente las restricciones correspondientes a cambios en los valores de los datos, o las restricciones que dependan del tiempo. Por ejemplo, la regla "el salario de los vendedores en el periodo actual no puede ser menor al que recibían en la etapa anterior" está excluida de la definición de restricción de Fagin. Exceptuando las restricciones dependientes del tiempo, la definición de Fagin es extensa e incluyente.

Una **llave** es un identificador único de un tuple, como ya lo hemos establecido. El tercer término importante en la definición de DK/NF es el **dominio**. En el capítulo 4 establecimos que el dominio es una descripción de los valores permitidos para un atributo. Consta de dos partes: una descripción física y una semántica o lógica. La descripción física constituye un conjunto de valores que el atributo puede tener, y la lógica se refiere al significado del atributo. La prueba de Fagin se aplica a ambas partes.

De manera informal, una relación está en DK/NF si al cumplir las restricciones de la llave y del dominio da como resultado que todas las restricciones se cumplan. Además, debido a que las relaciones en DK/NF no pueden tener anomalías de modificación, el DBMS puede prohibirlas imponiendo las restricciones de dominio y de llave.

Por desgracia, no se conoce algún algoritmo para convertir una relación a DK/NF; incluso no se sabe cuáles relaciones se pueden convertir a DK/NF. Encontrar o diseñar las relaciones DK/NF es más un arte que una ciencia.

A pesar de lo anterior, en el mundo práctico del diseño de bases de datos, la DK/NF es extremadamente útil para el diseño. Si podemos definir relaciones en una forma en que las restricciones sobre ellas sean consecuencias lógicas de dominio y llaves, entonces no habrá anomalías de modificación. En muchos diseños este objetivo se puede cumplir. Cuando no es así, las restricciones se deben construir dentro de la lógica de los programas de aplicación que procesan la base de datos. Veremos más acerca de esto en el presente capítulo y en el capítulo 10.

Los siguientes ejemplos ilustran la DK/NF.

<sup>5</sup> Ibid.