

Informe #1: Diseño de la Base de Datos

28 de septiembre de 2025

Tema del equipo

Gestión_para_la_generación_automática_de_exámenes

Integrantes del equipo

Camilo Pérez Fleita — C312 — [@olimachp](#)

Jean Manuel Martínez Pardo — C312 — [@jeanmtz](#)

Mauricio Medina Hernández — C312 — [@Mauricio_MedinaHernandez](#)

Rachel Mojena González — C312 — [@bulletpr_f](#)

Guillermo Hughes Cardona — C311 — [@Guillermo_Hughes](#)

Enlace al MERX

El diagrama MERX completo puede consultarse en el siguiente enlace: [Ver MERX](#)

Análisis y Reformulación Enriquecedora de Requerimientos del Sistema de Evaluación Académica

El sistema debe cubrir el ciclo completo de evaluación académica: creación de preguntas, generación de exámenes, aprobación, asignación y calificación de estudiantes. Los requerimientos se organizan por dominios (*Question Bank*, *Exam Generator*, *Exam Application*, *Identity & Access*, *Analytics*) y se sustentan en principios de trazabilidad, separación de funciones, control de acceso por rol y calidad de datos.

Los actores principales son: **profesores**, **jefes de asignatura**, **estudiantes** y **examinador**.

Requerimientos Funcionales

Question Bank (Banco de Preguntas)

- Mantener un repositorio único de preguntas.
- Requerir clasificación obligatoria (asignatura/tema/subtema, tipo de pregunta, nivel de dificultad).

- Registrar autoría, fechas y estados para trazabilidad y control de versiones.
- Prevenir duplicados mediante políticas de unicidad y validaciones de contenido.
- Asociar resultados de aprendizaje y etiquetas que habiliten búsquedas y filtrados precisos.

Exam Generator (Generación de Exámenes)

- Definir parámetros declarativos de generación: total de preguntas, proporciones por tipo/dificultad y cobertura mínima por temas.
- Soportar estrategias de selección configurables (balanceo por tema, muestreo proporcional).
- Mantener versionado de exámenes, con estados (en revisión, aprobado).
- Establecer un flujo formal de revisión por rol (revisor/jefe de asignatura) con aprobación/rechazo y registro de observaciones.

Exam Application (Asignación y Resolución de Exámenes)

- Gestionar solicitudes de recalificación de los estudiantes.
- Asignar exámenes únicamente a estudiantes matriculados y controlar que no reciban el mismo examen más de una vez por convocatoria.
- Configurar tiempo límite.
- Garantizar guardado incremental de respuestas durante la ejecución y autocalificación de preguntas al cierre.
- Registrar notas de antes y después de la recalificación.

Identity & Access (Usuarios y Roles)

- Registrar y administrar usuarios y roles (profesor, jefe de asignatura, estudiante, admin).
- Aplicar autenticación institucional y autorización por rol y asignatura.
- Definir políticas de visibilidad (ej. un profesor ve sus cursos, un estudiante solo ve sus exámenes).

Analytics (Informes y Métricas)

- Proveer reportes operativos y analíticos: listado de exámenes generados y validados, uso de preguntas por tema/dificultad, desempeño por examen.
- Incluir indicadores clave: tasa de acierto por dificultad/tema, top de preguntas con mayor reprobación, comparación entre asignaturas.
- Habilitar exportación a PDF.

Requerimientos Informacionales

- **Catálogos académicos (asignaturas, temas/subtemas):** El sistema debe mantener catálogos maestros consistentes para asignaturas y su descomposición en temas y subtemas, de modo que toda pregunta y todo examen queden anclados a un mapa curricular único. Estos catálogos sirven como eje de clasificación, filtrado y cobertura temática en la generación de exámenes. Deben permitir actualización controlada sin romper la historia académica ni la trazabilidad de usos anteriores.
- **Estados de ciclo de vida y versionado (preguntas):** Cada pregunta atraviesa estados claros y el sistema debe registrar su transición de forma auditable. Además, el versionado permite mejorar o corregir una pregunta sin perder el rastro de versiones previas, garantizando que exámenes pasados sigan referenciando exactamente la variante utilizada. Esto evita inconsistencias entre lo que rindieron los estudiantes y la versión actual del ítem.
- **Trazabilidad y auditoría (de la pregunta a la nota final):** Debe existir un rastro que conecte la pregunta seleccionada, el examen en que se incluyó, la asignación a estudiantes, cada intento, las respuestas y la calificación (incluida la recalificación si ocurrió).
- **Vocabularios controlados (tipos de pregunta, dificultad, tipos de evaluación):** Para asegurar comparabilidad y análisis coherente, la tipología de preguntas (p. ej., opción múltiple, V/F, ensayo), los niveles de dificultad y los tipos de evaluación deben provenir de listas controladas. Estos vocabularios se aplican de forma homogénea en todo el ciclo: carga de ítems, generación de exámenes, análisis y reportes. Su gestión centralizada evita ambigüedades y facilita métricas como tasas de acierto por dificultad.
- **Políticas de calidad y unicidad (detección de duplicados y consistencia semántica):** El sistema debe contar con reglas para identificar preguntas potencialmente duplicadas o demasiado similares dentro del mismo ámbito temático, evitando inflar el banco con variantes redundantes. Asimismo, deben existir validaciones de coherencia entre enunciado, opciones, clave o rúbrica y el tema/dificultad declarados. Estas políticas mejoran la calidad del banco y reducen sesgos en la generación automática.
- **Privacidad y acceso (visibilidad por rol/asignatura y resguardo de calificaciones):** La información debe visualizarse según el rol y el ámbito académico: un profesor ve lo correspondiente a sus cursos; un estudiante solo su examen, intento y notas. Las operaciones sensibles (aprobación, publicación, cambio de calificaciones) requieren permisos explícitos y quedan registradas. Las calificaciones y datos personales se resguardan con controles de acceso y registro de accesos/operaciones para asegurar cumplimiento y confidencialidad.
- **Metadatos temporales (creación, revisión, aprobación, asignación, dictámenes):** Cada hito del ciclo de evaluación necesita marcas de tiempo coherentes y ordenadas: cuándo se creó y validó una pregunta, cuándo se generó y aprobó un examen, cuándo se asignó, inició y cerró un intento, y cuándo se emitieron dictámenes de revisión o recalificación. La consistencia temporal es clave para reconstruir procesos y justificar decisiones.

Requerimientos de Gestión y Presentación de la Información

- **Contenido:** El sistema debe cubrir de punta a punta la información académica necesaria para operar y evaluar: catálogos de asignaturas, períodos y mapa temático; estados y versiones de preguntas y exámenes; y una bitácora de acciones y accesos. Este “mínimo vital” garantiza que cada operación (crear ítems, generar/validar exámenes, asignar, rendir, calificar, recalificar) tenga soporte informacional suficiente para consulta, control y análisis posterior.
- **Forma de presentación:** La información debe mostrarse en listados filtrables, reportes exportables y tableros con indicadores. Los listados resuelven la gestión diaria (buscar, filtrar, ordenar); los reportes consolidan cortes formales para entregar/archivar; y los tableros facilitan lectura rápida de desempeño y cobertura. La forma no es estética solamente: define cómo los usuarios toman decisiones y auditan el ciclo evaluativo.
- **Nivel de detalle:** Se requieren dos capas: una vista ejecutiva con resúmenes por curso/convocatoria/período, y una vista operativa con el detalle por examen, pregunta, intento y respuesta. Esta estratificación permite navegar del “qué está pasando” al “por qué pasó”, manteniendo consistencia entre agregados y detalle auditable.
- **Periodicidad:** Las operaciones (carga de preguntas, generación, intento en curso) requieren información en tiempo real o cuasi real. Los reportes deben ofrecer cortes diarios/semanales y cierres por convocatoria o semestre, para efectos académicos y de gobierno de datos. La periodicidad define ventanas de cálculo, retención y refresco de indicadores.
- **Usuario/destinatario:** La misma información se ajusta según el rol: profesores y estudiantes acceden a vistas y alcances acordes a sus responsabilidades. Esto ordena el trabajo, reduce ruido y asegura que cada decisión se tome con la evidencia que corresponde a cada función.

Convenciones

- Las DF se expresan como $\{LHS\} \rightarrow \{RHS\}$ con **RHS unitario**.
LHS (Left Hand Side): conjunto mínimo de atributos determinantes (lado izquierdo).
RHS (Right Hand Side): atributo dependiente determinado (lado derecho).
- Se usa *rol* para distinguir papeles de **Profesor**.
- **Usuario** es superentidad de **Profesor** y **Estudiante**; su tabla guarda el *hash de contraseña* de todos los usuarios.

Cubrimiento mínimo G

1. Entidades (clave \rightarrow atributos no clave)

USUARIO

1. $\{\text{ID Usuario}\} \rightarrow \{\text{HashContraseña}\}$
2. $\{\text{ID Usuario}\} \rightarrow \{\text{Nombre}\}$

PROFESOR

1. $\{\text{ID Profesor}\} \rightarrow \{\text{Nombre}\}$
2. $\{\text{ID Profesor}\} \rightarrow \{\text{Especialidad}\}$
3. $\{\text{ID Profesor}\} \rightarrow \{\text{ID Usuario}\}$

ESTUDIANTE

1. $\{\text{ID Estudiante}\} \rightarrow \{\text{Nombre}\}$
2. $\{\text{ID Estudiante}\} \rightarrow \{\text{Edad}\}$
3. $\{\text{ID Estudiante}\} \rightarrow \{\text{Curso}\}$
4. $\{\text{ID Estudiante}\} \rightarrow \{\text{ID Usuario}\}$

ASIGNATURA

1. $\{\text{ID Asignatura}\} \rightarrow \{\text{Nombre}\}$
2. $\{\text{ID Asignatura}\} \rightarrow \{\text{Programa de Estudios}\}$

TEMA

1. $\{\text{ID Tema}\} \rightarrow \{\text{Nombre}\}$

SUBTEMA (entidad débil de Tema)

- Clave mínima: $\{\text{ID Tema}, \text{Nombre (Subtema)}\}$. *Sin atributos propios \Rightarrow no aporta DF no triviales.*

PREGUNTA

1. $\{\text{ID Pregunta}\} \rightarrow \{\text{Tipo}\}$
2. $\{\text{ID Pregunta}\} \rightarrow \{\text{Dificultad}\}$
3. $\{\text{ID Pregunta}\} \rightarrow \{\text{Respuesta Correcta}\}$

EXAMEN

1. $\{\text{ID Examen}\} \rightarrow \{\text{Fecha Creación}\}$
2. $\{\text{ID Examen}\} \rightarrow \{\text{Fecha Validación}\}$

3. {ID Examen} \rightarrow {Dificultad}

PARAMETRIZACIÓN

1. {ID Parametrización} \rightarrow {Cantidad de Preguntas}
2. {ID Parametrización} \rightarrow {Proporción de Preguntas por Tipo}
3. {ID Parametrización} \rightarrow {Cobertura de los Temas}

2. Relaciones binarias

Ingresar (Profesor–Pregunta, 1:N)

1. {ID Pregunta} \rightarrow {ID Profesor (*Autor*)}

Dirigir (Jefe Asignatura–Asignatura, 1:N)

1. {Asignatura} \rightarrow {ID Profesor (*Jefe*)}

Pertenecer (Tema–Asignatura, M:N)

– *No genera DF no triviales entre claves.*

Corresponder (Asignatura–Examen, N:1)

1. {ID Examen} \rightarrow {ID Asignatura}

Crear (Examinador–Examen, 1:N)

1. {ID Examen} \rightarrow {ID Profesor (*Examinador*)}

Indicar (Jefe–Examen, 1:N)

1. {ID Examen} \rightarrow {ID Profesor (*Jefe (indica)*)}

Validar (Jefe–Examen, 1:N)

1. {ID Examen} \rightarrow {ID Profesor (*Jefe (valida)*)}

Poseer (Examen–Parametrización, 1:1)

1. {ID Examen} \rightarrow {ID Parametrización}
2. {ID Parametrización} \rightarrow {ID Examen}

Asociar (Pregunta–Subtema, M:N) , Tener (Examen–Pregunta, M:N) e Impartir (Profesor–Asignatura, M:N)

– *No generan DF no triviales entre claves.*

3. Relaciones ternarias

Asignar (Profesor–Estudiante–Examen)

1. {ID Estudiante, ID Examen} \rightarrow {ID Profesor (*Asignador*)}
2. {ID Estudiante, ID Examen} \rightarrow {Estado}
3. {ID Estudiante, ID Examen} \rightarrow {FechaAplicacion}
4. {ID Estudiante, ID Examen} \rightarrow {Duracion}

Hacer (Estudiante–Examen–Pregunta)

1. {ID Estudiante, ID Examen, ID Pregunta} \rightarrow {Respuesta}

Solicitar (Recalificación) (Profesor–Estudiante–Examen)

1. {ID Estudiante, ID Examen} \rightarrow {ID Profesor (*Revisor*)}
2. {ID Estudiante, ID Examen} \rightarrow {Nota}

4. DF de negocio integradas en G

1. {Enunciado de Pregunta, ID Asignatura} \rightarrow {ID Pregunta}

Dependencias eliminadas o descompuestas (en rojo)

A continuación se listan **sólo para referencia** las DF que *no* forman parte del cubrimiento mínimo por ser redundantes, triviales o por tener RHS no unitario. Se marcan en **rojo**.

A. RHS no unitario (descompuestas)

- {ID Profesor} \rightarrow {Nombre, Especialidad, ID Usuario}
- {ID Estudiante} \rightarrow {Nombre, Edad, Curso, ID Usuario}
- {ID Asignatura} \rightarrow {Nombre, Programa de Estudios}
- {ID Pregunta} \rightarrow {Tipo, Dificultad, Respuesta Correcta}
- {ID Examen} \rightarrow {Fecha Creación, Fecha Validación, Dificultad}

- $\{\text{ID Parametrización}\} \rightarrow \{\text{Cantidad de Preguntas, Proporción de Preguntas por Tipo, Cobertura de los Temas}\}$

B. Triviales / sin aporte

- $\{\text{ID Tema, Nombre (Subtema)}\} \rightarrow \{\text{ID Tema}\}$ (*proyección trivial de clave compuesta de **Subtema***).
- $\{\text{ID Profesor}\} \rightarrow \{\}$ para especializaciones **Examinador** y **Jefe de Asignatura** (*no aportan atributos propios*).

C. No derivadas / cardinalidades M:N

- Cualquier DF propuesta sobre **Impartir** (Profesor–Asignatura, M:N), **Asociar** (Pregunta–Subtema, M:N) o **Tener** (Examen–Pregunta, M:N) (*no existen DF no triviales entre las claves en relaciones M:N puras*).

D. Observaciones

- La pareja $\{\text{ID Examen}\} \rightarrow \{\text{ID Parametrización}\}$ y $\{\text{ID Parametrización}\} \rightarrow \{\text{ID Examen}\}$ no es redundante si la cardinalidad es estrictamente 1:1; son restricciones independientes.

Notas de minimalidad

- Todos los LHS son mínimos; en ternarias, quitar cualquier atributo del LHS impide determinar el RHS.
- Ninguna DF de G se deduce del resto; por ejemplo, $\{\text{ID Examen}\} \rightarrow \{\text{ID Asignatura}\}$ no es consecuencia de otras DF.
- La especialización **Usuario** $\rightarrow \{\text{Profesor, Estudiante}\}$ queda plasmada con $\{\text{ID Profesor}\} \rightarrow \{\text{ID Usuario}\}$ y $\{\text{ID Estudiante}\} \rightarrow \{\text{ID Usuario}\}$, y la custodia de credenciales con $\{\text{ID Usuario}\} \rightarrow \{\text{HashContraseña}\}$.

Síntesis a 3FN (Algoritmo) y demostración de 3FN

Objetivo A partir del cubrimiento minimal G precedente, aplicamos el **algoritmo de síntesis a 3FN** (Bernstein/Ullman) para obtener una descomposición que *preserva dependencias*, es *sin pérdida* y en la que cada relación cumple **3FN**.

Paso 1: Agrupar por LHS y construir relaciones $R_i = (U_i, F_i)$

Para cada conjunto de DF con el mismo lado izquierdo X , se construyen:

$$F_i = \{ \text{DF con LHS } X \}, \quad U_i = X \cup \bigcup \text{RHS}, \quad R_i = (U_i, F_i).$$

Los casos quedan:

1. $X = \text{ID Usuario}$

$$F_1 = \{ \{ID Usuario\} \rightarrow \{HashContraseña\}, \{ID Usuario\} \rightarrow \{Nombre\} \},$$

$$U_1 = \{ID Usuario, HashContraseña, Nombre\},$$

$$R_1 = (U_1, F_1)$$

2. $X = \text{ID Profesor}$

$$F_2 = \{ \{ID Profesor\} \rightarrow \{Nombre\}, \{ID Profesor\} \rightarrow \{Especialidad\}, \\ \{ID Profesor\} \rightarrow \{ID Usuario\} \}$$

$$U_2 = \{ID Profesor, Nombre, Especialidad, ID Usuario\}$$

$$R_2 = (U_2, F_2)$$

3. $X = \text{ID Estudiante}$

$$F_3 = \{ \{ID Estudiante\} \rightarrow \{Nombre\}, \{ID Estudiante\} \rightarrow \{Edad\}, \\ \{ID Estudiante\} \rightarrow \{Curso\}, \{ID Estudiante\} \rightarrow \{ID Usuario\} \}$$

$$U_3 = \{ID Estudiante, Nombre, Edad, Curso, ID Usuario\}$$

$$R_3 = (U_3, F_3)$$

4. $X = \text{ID Asignatura}$

$$F_4 = \{ \{ID Asignatura\} \rightarrow \{Nombre\}, \{ID Asignatura\} \rightarrow \{Programa de Estudios\} \},$$

$$U_4 = \{ID Asignatura, Nombre, Programa de Estudios\},$$

$$R_4 = (U_4, F_4)$$

5. $X = \text{ID Tema}$

$$F_5 = \{ \{ID Tema\} \rightarrow \{Nombre\} \},$$

$$U_5 = \{ID Tema, Nombre\},$$

$$R_5 = (U_5, F_5)$$

6. $X = \text{ID Pregunta}$

$$F_6 = \{ \{ID Pregunta\} \rightarrow \{Tipo\}, \{ID Pregunta\} \rightarrow \{Dificultad\},$$

$$\{ID Pregunta\} \rightarrow \{Respuesta Correcta\}, \{ID Pregunta\} \rightarrow \{ID Profesor(Autor)\} \},$$

$$U_6 = \{ID Pregunta, Tipo, Dificultad, Respuesta Correcta, ID Profesor(Autor)\},$$

$$R_6 = (U_6, F_6)$$

7. $X = \text{ID Examen}$

$F_7 = \{ \{ID\ Examen\} \rightarrow \{Fecha\ Creación\}, \{ID\ Examen\} \rightarrow \{Fecha\ Validación\},$
 $\{ID\ Examen\} \rightarrow \{Dificultad\}, \{ID\ Examen\} \rightarrow \{ID\ Asignatura\},$
 $\{ID\ Examen\} \rightarrow \{ID\ Profesor(Examinador)\},$
 $\{ID\ Examen\} \rightarrow \{ID\ Profesor(Jefe\ (indica))\},$
 $\{ID\ Examen\} \rightarrow \{ID\ Profesor(Jefe\ (valida))\},$
 $\{ID\ Examen\} \rightarrow \{ID\ Parametrización\} \},$

$U_7 = \{ID\ Examen, Fecha\ Creación, Fecha\ Validación, Dificultad, ID\ Asignatura,$
 $ID\ Profesor(Examinador), ID\ Profesor(Jefe\ (indica)),$
 $ID\ Profesor(Jefe\ (valida)), ID\ Parametrización\},$

$R_7 = (U_7, F_7)$

8. **$X = ID\ Parametrización$**

$F_8 = \{ \{ID\ Parametrización\} \rightarrow \{Cantidad\ de\ Preguntas\},$
 $\{ID\ Parametrización\} \rightarrow \{Proporción\ de\ Preguntas\ por\ Tipo\},$
 $\{ID\ Parametrización\} \rightarrow \{Cobertura\ de\ los\ Temas\} \},$

$U_8 = \{ID\ Parametrización, Cantidad\ de\ Preguntas, Proporción\ de\ Preguntas\ por\ Tipo,$
 $Cobertura\ de\ los\ Temas\},$

$R_8 = (U_8, F_8)$

9. **$X = (ID\ Estudiante, ID\ Examen)$ (agrupa Asignar y Solicitar)**

$F_9 = \{ \{ID\ Estudiante, ID\ Examen\} \rightarrow \{ID\ Profesor(Asignador)\},$
 $\{ID\ Estudiante, ID\ Examen\} \rightarrow \{Estado\},$
 $\{ID\ Estudiante, ID\ Examen\} \rightarrow \{Fecha\ Aplicacion\},$
 $\{ID\ Estudiante, ID\ Examen\} \rightarrow \{Duracion\},$
 $\{ID\ Estudiante, ID\ Examen\} \rightarrow \{ID\ Profesor(Revisor)\},$
 $\{ID\ Estudiante, ID\ Examen\} \rightarrow \{Nota\} \},$

$U_9 = \{ID\ Estudiante, ID\ Examen, ID\ Profesor(Asignador), Estado,$
 $Fecha\ Aplicacion, Duracion, ID\ Profesor(Revisor), Nota\},$

$R_9 = (U_9, F_9)$

10. **$X = (ID\ Estudiante, ID\ Examen, ID\ Pregunta)$**

$F_{10} = \{ \{ID\ Estudiante, ID\ Examen, ID\ Pregunta\} \rightarrow \{Respuesta\} \},$

$U_{10} = \{ID\ Estudiante, ID\ Examen, ID\ Pregunta, Respuesta\},$

$R_{10} = (U_{10}, F_{10})$

11. **Entidad débil SUBTEMA**

(sin DF informativas adicionales)

$R_{Subtema} = \{ID\ Tema, Nombre(Subtema)\}$ (PK compuesta)

Paso 2: Eliminar relaciones subsumidas

No existe $R_i \subseteq R_j$ entre las construidas: cada R_i corresponde a un LHS distinto. Por tanto, **no se elimina** ninguna. (Las relaciones M:N puras se añaden como puentes en un paso posterior).

Paso 3: Garantizar presencia de alguna clave del universo

El conjunto $\{R_1, \dots, R_{10}, R_{\text{Subtema}}\}$ ya contiene las claves necesarias (claves simples o compuestas) por lo que **no** se requiere añadir una relación adicional.

Paso 4: Añadir relaciones M:N puras

Como en *Impartir*, *Pertenecer*, *Asociar* y *Tener* no hay DF cruzadas, se crean tablas puente con PK compuesta:

- **IMPARTIR**(ID_Profesor, ID_Asignatura)
- **PERTENECER_TEMA_ASIGNATURA**(ID_Tema, ID_Asignatura)
- **ASOCIAR_PREGUNTA_SUBTEMA**(ID_Pregunta, ID_Tema, NombreSubtema)
- **TENER_EXAMEN_PREGUNTA**(ID_Examen, ID_Pregunta, Puntaje, Posicion)

Esquema final (3FN), PK y FK

USUARIO

(ID_Usuario PK, HashContraseña, Nombre)

PROFESOR

(ID_Profesor PK, Nombre, Especialidad, ID_Usuario FK → USUARIO.ID_Usuario)

ESTUDIANTE

(ID_Estudiante PK, Nombre, Edad, Curso, ID_Usuario FK → USUARIO.ID_Usuario)

ASIGNATURA

(ID_Asignatura PK, Nombre, ProgramaEstudios)

TEMA (ID_Tema PK, Nombre)

SUBTEMA

(ID_Tema PK/FK → TEMA.ID_Tema, NombreSubtema PK)

PERTENECER_TEMA_ASIGNATURA

(ID_Tema PK/FK → TEMA.ID_Tema, ID_Asignatura PK/FK → ASIGNATURA.ID_Asignatura)

PREGUNTA

(ID_Pregunta PK, Tipo, Dificultad, RespuestaCorrecta, ID_Profesor_Autor FK → PROFESOR.ID_Profesor, *Enunciado?*, *ID_Asignatura?* FK)
Regla de negocio (anti-duplicados): UNIQUE(Enunciado, ID_Asignatura)

IMPARTIR

(ID_Profesor PK/FK → PROFESOR.ID_Profesor, ID_Asignatura PK/FK → ASIGNATURA.ID_Asignatura)

ASOCIAR_PREGUNTA_SUBTEMA

(ID_Pregunta PK/FK → PREGUNTA.ID_Pregunta, ID_Tema PK/FK → TEMA.ID_Tema, NombreSubtema PK/FK → SUBTEMA.NombreSubtema)

PARAMETRIZACION

(ID_Parametrizacion PK, CantidadPreguntas, ProporciónPorTipo, Cobertura-Temas)

EXAMEN

(ID_Examen PK, FechaCreación, FechaValidación, Dificultad, ID_Asignatura FK → ASIGNATURA.ID_Asignatura, ID_Parametrizacion FK → PARAMETRIZACION.ID_Parametrizacion, ID_Profesor_Examinador FK → PROFESOR.ID_Profesor, ID_Profesor_Jefe_Indica FK → PROFESOR.ID_Profesor, ID_Profesor_Jefe_Valida FK → PROFESOR.ID_Profesor)

TENER_EXAMEN_PREGUNTA

(ID_Examen PK/FK → EXAMEN.ID_Examen, ID_Pregunta PK/FK → PREGUNTA.ID_Pregunta, Puntaje, Posición)

ASIGNACION_EXAMEN

(ID_Estudiante PK/FK → ESTUDIANTE.ID_Estudiante, ID_Examen PK/FK → EXAMEN.ID_Examen, ID_Profesor_Asignador FK → PROFESOR.ID_Profesor, **Estado**, **FechaAplicación**, **Duración**)

RESPUESTA_EXAMEN

(ID_Estudiante PK/FK → ESTUDIANTE.ID_Estudiante, ID_Examen PK/FK → EXAMEN.ID_Examen, ID_Pregunta PK/FK → PREGUNTA.ID_Pregunta, Respuesta)

SOLICITUD_RECALIFICACION

(ID_Estudiante PK/FK → ESTUDIANTE.ID_Estudiante, ID_Examen PK/FK → EXAMEN.ID_Examen, ID_Profesor_Revisor PK/FK → PROFESOR.ID_Profesor, Nota)

Demostración de 3FN, preservación y unión sin pérdida

3FN por relación En cada relación:

- Las DF internas tienen LHS *superclave* (ej. *ID_Examen* en **EXAMEN**; o las

compuestas en **ASIGNACION_EXAMEN**, **RESPUESTA_EXAMEN**, **SOLICITUD_RECALIFICACION**).

- La regla de negocio (*Enunciado*, *ID_Asignatura*) \rightarrow *ID_Pregunta* no rompe 3FN, pues *ID_Pregunta* es atributo primo.
- Las tablas puente M:N (**IMPARTIR**, **PERTENECER_TEMA_ASIGNATURA**, **ASOCIAR_PREGUNTA_SUBTEMA**, **TENER_EXAMEN_PREGUNTA**) tienen PK compuesta y ninguna DF no trivial extra.

\Rightarrow Todas las relaciones cumplen con 3FN.

Preservación de dependencias Cada DF de G aparece contenida en alguna relación R_i generada en el Paso 1, por lo que la síntesis *preserva* el cubrimiento minimal (garantizado por el algoritmo ejecutado).

Unión sin pérdida De acuerdo con el **Lema de Ullman**, una descomposición en 3FN obtenida mediante el algoritmo de síntesis, que preserva dependencias (PPDF), siempre puede extenderse con una relación que contenga una *llave global* del esquema $R(U, F)$ para garantizar también la *propiedad de la unión sin pérdida* (PLJ).

En nuestro caso, la síntesis generada incluye explícitamente todas las claves necesarias y cumple la **PLJ** sin requerir la adición de una nueva relación que almacene la llave global. En particular:

- El cubrimiento minimal G asegura la preservación de dependencias (PPDF).
- La unión sin pérdida está garantizada porque cada tabla puente M:N contiene claves primarias completas, y las FKs en las relaciones binarias enlazan directamente con PKs.

\Rightarrow El esquema obtenido se encuentra en **3FN**, preserva dependencias (PPDF) y asegura la unión sin pérdida (PLJ).