

Motor de Decisiones Automatizado para la Gestión de Subsidios en Colombia: Caso Renta Joven

Cesar Amaya Gomez

Índice

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introducción | 2 |
| 2 | Objetivos del Proyecto | 3 |
| 3 | Preguntas de Investigación | 3 |
| 4 | Marco Conceptual y Estado del Arte | 4 |
| 4.1 | GovTech y Transformación Digital en el Sector Público | 4 |
| 4.2 | Automatización de Procesos y Sistemas de Reglas | 4 |
| 4.3 | Inspiración en Smart Contracts sin Blockchain | 5 |
| 4.4 | Interoperabilidad de Datos en Programas Sociales | 5 |
| 4.5 | Trazabilidad, Auditoría y Transparencia | 5 |
| 4.6 | Estado del Arte en Automatización de Subsidios | 6 |
| 5 | Problema Actual en la Asignación de Subsidios en Colombia | 6 |
| 6 | Propuesta de Solución: Motor de Decisiones Automatizado para Renta Joven | 8 |
| 6.1 | Principios que Fundamentan la Solución | 8 |
| 6.2 | Flujo General de la Solución | 8 |
| 6.3 | Justificación de la Solución frente a Alternativas Existentes | 9 |
| 6.4 | Alcance de la Solución | 9 |
| 7 | Arquitectura Técnica del Prototipo | 9 |
| 7.1 | Visión General | 10 |
| 7.2 | Capa de API | 10 |
| 7.3 | Capa de Aplicación | 10 |
| 7.4 | Capa de Dominio | 11 |
| 7.5 | Capa de Infraestructura | 11 |
| 7.6 | Capa Compartida: Auditoría y Métricas | 11 |
| 7.7 | Resumen de Tecnologías Utilizadas | 12 |
| 8 | Metodología de Evaluación | 12 |
| 8.1 | Enfoque General de Evaluación | 12 |
| 8.2 | Preparación de los Datos de Prueba | 12 |
| 8.3 | Procedimiento de Pruebas | 13 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 8.4 | Atributos de Calidad Evaluados | 13 |
| 8.5 | Comparación con el Proceso Manual Tradicional | 13 |
| 8.6 | Limitaciones de la Evaluación | 14 |
| 9 | Resultados y Evaluación | 14 |
| 9.1 | Evaluación de precisión | 14 |
| 9.2 | Detección de fraude | 15 |
| 9.3 | Rendimiento del sistema | 15 |
| 9.4 | Comparación con el proceso tradicional | 16 |
| 9.5 | Análisis de errores | 16 |
| 10 | Discusión | 16 |
| 11 | Conclusiones | 17 |
| 12 | Consideraciones para Implementaciones Reales | 18 |

1. Introducción

En Colombia, los programas sociales dirigidos a jóvenes en condición de vulnerabilidad enfrentan una dificultad que trasciende lo administrativo y roza lo absurdo: la información requerida para validar requisitos se encuentra distribuida en múltiples sistemas, instituciones y bases de datos que no se comunican entre sí. El caso del programa *Renta Joven* es un ejemplo evidente. Para determinar si una persona es beneficiaria se deben consultar fuentes como el SISBÉN, el SNIES, registros del Ministerio de Educación Nacional y datos de instituciones educativas, todas con procesos independientes y tiempos de respuesta variables. Esta fragmentación produce demoras que pueden extenderse durante semanas, incrementa la carga operativa y abre espacios para errores e inconsistencias. Frente a este panorama, la transformación digital no es una aspiración futurista, sino una necesidad inmediata. Sin embargo, el discurso tecnológico en el sector público suele polarizarse entre sistemas tradicionales lentos pero probados, y soluciones basadas en *blockchain* que rara vez encuentran viabilidad técnica o institucional. Este trabajo propone una alternativa intermedia, práctica y aplicable dentro de la realidad tecnológica del Estado colombiano: un **motor de decisiones automatizado inspirado en los principios de los *smart contracts***, pero sin requerir *blockchain*, infraestructura en la nube ni componentes complejos difíciles de adoptar. El propósito es demostrar que la verificación de requisitos para *Renta Joven* puede realizarse de manera automática, determinística, transparente y auditable en cuestión de segundos. Para ello, se desarrolló un prototipo local que simula las fuentes de datos externas y aplica reglas de negocio reales mediante un motor de decisiones centralizado y trazable. La arquitectura diseñada prioriza la separación de responsabilidades, la claridad del flujo, la auditoría de cada paso y la medición de atributos de calidad como precisión, latencia y consistencia. Este artículo presenta el marco conceptual, la arquitectura propuesta, el diseño del prototipo, la metodología de evaluación y los resultados obtenidos. Más que ofrecer una solución definitiva, este trabajo busca constituirse en una guía replicable para otros programas sociales, demostrando que es posible modernizar y automatizar los procesos de asignación de subsidios utilizando tecnologías accesibles y compatibles con la infraestructura institucional existente.

2. Objetivos del Proyecto

Objetivo General

Diseñar y desarrollar un prototipo local de un **motor de decisiones automatizado** para la verificación de requisitos del programa *Renta Joven*, capaz de integrar información simulada de entidades externas, aplicar reglas de negocio de manera determinística y generar trazabilidad completa del proceso, con el fin de evaluar mejoras en precisión, tiempos de respuesta y transparencia frente al proceso manual tradicional.

Objetivos Específicos

- Construir una arquitectura modular basada en principios de diseño limpios que permita separar claramente la lógica de negocio, las simulaciones de datos externos, la persistencia y la API del prototipo.
- Implementar un conjunto de servicios simulados que recreen las consultas necesarias a fuentes de datos como SISBÉN, SNIES y el Ministerio de Educación Nacional, garantizando resultados coherentes y consistentes para el prototipo.
- Desarrollar un motor de decisiones centralizado que aplique las reglas de elegibilidad de *Renta Joven* de manera automática y auditable, generando explicaciones claras de cada decisión tomada.
- Incorporar un sistema de auditoría interna capaz de registrar cada paso del proceso de evaluación, incluyendo consultas realizadas, tiempos de ejecución y reglas aplicadas.
- Implementar un módulo de métricas que permita evaluar atributos de calidad como latencia, tasa de aprobación, razones de rechazo y consistencia del motor de decisiones.
- Realizar una comparación cualitativa y cuantitativa entre el proceso simulado automatizado y el proceso tradicional, con énfasis en la reducción de tiempos y la mejora en transparencia.

3. Preguntas de Investigación

El proyecto plantea una serie de preguntas orientadas a evaluar la viabilidad, utilidad y eficiencia de un motor de decisiones automatizado aplicado al proceso de verificación de requisitos del programa *Renta Joven*. Las preguntas buscan determinar no solo el desempeño técnico del prototipo, sino también su potencial como alternativa práctica frente a los procesos manuales actualmente utilizados en entidades gubernamentales.

Preguntas Principales

1. ¿En qué medida un motor de decisiones automatizado puede reducir los tiempos de verificación de requisitos para *Renta Joven* en comparación con el proceso manual tradicional?

2. ¿Qué tan confiable y consistente es el motor al aplicar reglas de negocio reales sobre datos simulados provenientes de fuentes externas como SISBÉN, SNIES y el MEN?
3. ¿Hasta qué punto la trazabilidad generada por la auditoría interna del prototipo mejora la transparencia del proceso de evaluación?
4. ¿Cuáles atributos de calidad (latencia, precisión, consistencia, capacidad de auditoría) se ven más significativamente impactados por la automatización?
5. ¿Es viable replicar esta arquitectura en otros programas de subsidios del Estado colombiano sin requerir infraestructura avanzada como *blockchain* o servicios en la nube?

4. Marco Conceptual y Estado del Arte

La verificación de requisitos para programas sociales en Colombia se encuentra marcada por procesos manuales, falta de interoperabilidad entre instituciones y demoras que pueden extenderse durante semanas. Para abordar este problema desde una perspectiva tecnológica realista, resulta necesario revisar conceptos clave relacionados con automatización, sistemas de reglas, trazabilidad, interoperabilidad gubernamental y transformación digital en el sector público. Esta sección presenta los fundamentos teóricos que enmarcan la solución propuesta, así como un panorama del estado actual de la digitalización de programas sociales.

4.1. GovTech y Transformación Digital en el Sector Público

El término *GovTech* se refiere al uso de tecnologías emergentes y buenas prácticas de ingeniería para modernizar procesos gubernamentales, mejorar la eficiencia y aumentar la transparencia. En Colombia, la adopción de soluciones GovTech ha avanzado de manera desigual. Aunque existen plataformas como GELS, SECOP II y el Portal Único de Trámites, muchos programas sociales aún dependen de procesos manuales o sistemas fragmentados que no comparten datos entre sí.

La literatura enfatiza que la transformación digital del sector público no consiste en sustituir funcionarios por sistemas automáticos, sino en rediseñar procesos para eliminar pasos innecesarios y facilitar decisiones basadas en datos. En este sentido, la automatización de trámites se vuelve una estrategia clave para reducir tiempos, mejorar la trazabilidad y mitigar riesgos de corrupción o fraude.

4.2. Automatización de Procesos y Sistemas de Reglas

La automatización de procesos administrativos se apoya frecuentemente en motores de reglas (*business rules engines*), que permiten expresar la lógica de negocio de manera declarativa y evaluarla de forma determinística. Tecnologías como DMN (Decision Model and Notation), Drools o motores propietarios en bancos y aseguradoras son ejemplos ampliamente documentados en la industria.

Un motor de decisiones automatizado permite que un conjunto de reglas previamente definidas se ejecute sin intervención humana, garantizando coherencia, repetibilidad y transparencia en las decisiones. Estos motores se utilizan para procesos como evaluación

de créditos, detección de fraudes, clasificación de solicitudes y análisis de riesgos, lo cual demuestra su pertinencia para programas sociales como *Renta Joven*.

La propuesta desarrollada en este proyecto se inspira en estos principios, implementando un motor de reglas simplificado que evalúa criterios de elegibilidad de manera automática, utilizando datos provenientes de simulaciones de fuentes como SISBÉN, SNIES y el Ministerio de Educación Nacional.

4.3. Inspiración en Smart Contracts sin Blockchain

Aunque los *smart contracts* suelen asociarse exclusivamente con *blockchain*, su esencia conceptual —inmutabilidad lógica, automatización, ejecución determinística y trazabilidad del proceso— puede implementarse sin recurrir a infraestructuras descentralizadas.

Un *smart contract* tradicional es un programa que se ejecuta automáticamente cuando se cumplen ciertas condiciones y que, debido a su naturaleza distribuida, garantiza transparencia y auditabilidad. Sin embargo, la necesidad de infraestructura blockchain, costos transaccionales, complejidad de gobernanza y limitaciones en entornos institucionales hacen que su adopción en el sector público colombiano sea poco viable en el corto plazo.

El motor de decisiones propuesto en este trabajo toma la esencia funcional de los *smart contracts* —automatización, reglas autoejecutables y trazabilidad— y la implementa de manera centralizada, sobre una arquitectura de software convencional, más acorde con la infraestructura de las entidades gubernamentales actuales.

4.4. Interoperabilidad de Datos en Programas Sociales

Uno de los principales desafíos del Estado colombiano es la falta de interoperabilidad entre instituciones. Cada programa o entidad almacena sus datos en sistemas aislados, lo que obliga a realizar verificaciones manuales o a depender de integraciones lentas y frágiles. Reportes de Contraloría y Planeación Nacional evidencian que esta fragmentación no solo genera demoras, sino también errores, inconsistencias y dificultades para detectar fraudes.

El proceso de validación para *Renta Joven* implica, al menos, consultar:

- El nivel de clasificación socioeconómica en el SISBÉN.
- La condición de estudiante activo o graduado en el SNIES.
- El estado académico reportado al MEN.
- Información institucional proporcionada por entidades locales.

El prototipo desarrollado en este proyecto aborda esta problemática a través de servicios simulados que actúan como sustitutos de dichas fuentes. Si bien no representan una integración real, permiten modelar la complejidad de las consultas externas y evaluar el desempeño del motor de decisiones bajo condiciones controladas.

4.5. Trazabilidad, Auditoría y Transparencia

La trazabilidad es un aspecto fundamental en sistemas de decisión gubernamentales. Una ejecución automatizada sin registro detallado no solo genera desconfianza, sino que puede dificultar la identificación de fallos, inconsistencias o decisiones injustificadas.

El prototipo integra un módulo de auditoría que registra:

- Cada consulta realizada a las fuentes simuladas.
- La regla aplicada en cada paso del proceso.
- Los tiempos de ejecución.
- El resultado final de la evaluación y sus razones.

Este enfoque se alinea con las recomendaciones internacionales de organismos como el Banco Mundial y la OCDE, que enfatizan la necesidad de sistemas explicables y auditables en la administración de beneficios sociales.

4.6. Estado del Arte en Automatización de Subsidios

Otros países han avanzado en la digitalización de procesos de verificación de subsidios mediante motores de reglas, integraciones centralizadas o sistemas de interoperabilidad robustos. En Estonia, por ejemplo, la infraestructura gubernamental X-Road permite que entidades compartan datos de manera segura, reduciendo la necesidad de trámites manuales. En Chile, el Registro Social de Hogares automatiza gran parte de las verificaciones de nivel socioeconómico.

En Colombia, iniciativas como la Carpeta Ciudadana, la Historia Académica Única y la actualización del SISBÉN IV representan avances importantes, pero aún no existe un sistema unificado que permita automatizar completamente la asignación de subsidios.

El prototipo desarrollado para este proyecto aporta un modelo práctico sobre cómo un motor de decisiones puede integrarse a este ecosistema como un componente central para evaluar elegibilidad de manera rápida, transparente y auditable.

5. Problema Actual en la Asignación de Subsidios en Colombia

La administración de subsidios en Colombia enfrenta dificultades estructurales derivadas de la fragmentación institucional, la falta de interoperabilidad entre sistemas y la alta dependencia de procesos manuales. Estas condiciones no solo ralentizan la evaluación de beneficiarios, sino que también aumentan el riesgo de errores, inconsistencias y posibles casos de fraude. Programas como *Renta Joven*, orientados a poblaciones vulnerables, dependen de verificaciones que involucran múltiples fuentes de información con niveles de madurez tecnológica distintos, lo cual agrava la complejidad operativa.

Fragmentación de Datos y Falta de Integración

El proceso de verificación de requisitos de *Renta Joven* requiere consultar información proveniente de entidades como:

- El SISBÉN (nivel socioeconómico).
- El SNIES (estado académico y pertenencia a una institución educativa).
- El Ministerio de Educación Nacional (historial académico y matrícula).
- Instituciones de educación superior, alcaldías y entidades territoriales.

Cada una opera con sistemas independientes, esquemas de datos distintos y mecanismos heterogéneos de acceso. En muchos casos, estas instituciones no cuentan con APIs públicas o sus procesos de consulta dependen de solicitudes manuales, reportes periódicos o interoperabilidad limitada. Esto genera que la validación de un único beneficiario pueda tardar días o incluso semanas.

Demoras Operativas y Carga Administrativa

El Estado colombiano reconoce que la asignación y actualización de subsidios puede tardar entre 30 y 45 días debido a:

- Revisión manual de documentos.
- Validación directa con instituciones educativas.
- Procesos de cruce de información que no están automatizados.
- Errores en reportes o inconsistencias entre bases de datos.

Estas demoras afectan tanto a los beneficiarios como a los operadores del programa, quienes deben gestionar grandes volúmenes de solicitudes de manera manual o semiautomática, lo que incrementa la incidencia de retrasos, reprocesos y congestión administrativa.

Riesgo de Errores y Posible Fraude

La falta de un sistema centralizado y auditado facilita la existencia de:

- Datos desactualizados en una o varias instituciones.
- Estudiantes que reciben subsidios sin cumplir los requisitos actuales.
- Casos de fraude por inconsistencias entre bases.
- Dificultad para detectar comportamientos anómalos u omisiones.

Sin un mecanismo automatizado que permita registrar cada paso del proceso, la trazabilidad queda sujeta a las prácticas individuales de cada entidad, lo cual dificulta los ejercicios de control, seguimiento y auditoría.

Necesidad de un Mecanismo Automatizado y Trazable

La problemática descrita evidencia la necesidad de contar con un sistema capaz de:

- Integrar datos de diversas fuentes —reales o simuladas— bajo un flujo coherente.
- Aplicar reglas de elegibilidad de manera determinística.
- Reducir tiempos operativos mediante automatización.
- Ofrecer trazabilidad completa que permita auditoría posterior.

El prototipo desarrollado en este proyecto busca precisamente responder a esta necesidad, demostrando que es posible evaluar beneficiarios de manera rápida, consistente y auditable sin requerir infraestructura compleja ni cambios institucionales profundos.

6. Propuesta de Solución: Motor de Decisiones Automatizado para Renta Joven

La solución propuesta consiste en el diseño e implementación de un **motor de decisiones automatizado** capaz de evaluar los requisitos del programa *Renta Joven* utilizando datos provenientes de servicios simulados que representan entidades como el SISBÉN, el SNIES y el Ministerio de Educación Nacional. El enfoque prioriza la automatización, la trazabilidad y la determinación lógica de cada paso del proceso, sin requerir infraestructura descentralizada ni tecnologías complejas como *blockchain* o servicios en la nube.

El motor actúa como un núcleo determinístico que recibe los datos de un solicitante, ejecuta consultas a las fuentes externas simuladas y aplica un conjunto de reglas de negocio inspiradas en los criterios oficiales del programa. Cada decisión generada por el motor queda registrada en un sistema de auditoría, lo que garantiza transparencia y capacidad de verificación posterior.

6.1. Principios que Fundamentan la Solución

El diseño del prototipo se basa en cuatro principios centrales:

- **Determinismo:** para una misma entrada, el sistema debe producir siempre el mismo resultado, sin variaciones ni criterios ambiguos.
- **Trazabilidad:** cada verificación, consulta y regla aplicada debe generar un registro auditable que explique el proceso completo.
- **Modularidad:** la lógica de negocio, las fuentes externas, la API y la persistencia deben ser componentes separados para garantizar mantenibilidad y claridad arquitectónica.
- **Automatización:** el sistema debe poder evaluar solicitudes completas sin intervención humana, de forma rápida y consistente.

Estos principios permiten reproducir la esencia funcional de los *smart contracts* —auto-ejecución, transparencia y explicabilidad— sin depender de una infraestructura blockchain.

6.2. Flujo General de la Solución

El flujo de evaluación propuesto sigue una secuencia clara y reproducible:

1. El usuario o sistema externo registra una solicitud de verificación a través de un punto de acceso REST.
2. El motor de decisiones consulta los servicios simulados que representan las entidades oficiales.
3. Cada consulta produce un registro en el módulo de auditoría, incluyendo tiempos, datos obtenidos y estado de la respuesta.
4. El motor evalúa las reglas de negocio del programa *Renta Joven* sobre los datos agregados.

5. El resultado final —aprobado, rechazado o pendiente— se almacena junto a su justificación.
6. El módulo de métricas agrega información sobre latencia, tasas de aprobación, razones frecuentes de rechazo y consistencia del proceso.

6.3. Justificación de la Solución frente a Alternativas Existentes

La literatura propone distintos enfoques para modernizar la verificación de subsidios, incluyendo sistemas distribuidos, integraciones profundas entre entidades o plataformas basadas en *blockchain*. No obstante, estos enfoques suelen enfrentar barreras como costos de implementación, complejidad técnica, limitaciones institucionales o ausencia de infraestructura adecuada.

La propuesta de este proyecto adopta una alternativa pragmática:

- Aprovecha tecnologías ampliamente disponibles en entidades públicas.
- Reduce la complejidad sin sacrificar transparencia ni auditabilidad.
- Facilita la replicabilidad en otros programas sociales.
- Permite mediciones objetivas de desempeño y calidad.

El prototipo no depende de infraestructura externa y puede ejecutarse completamente en entornos locales, lo que facilita tanto su evaluación como su potencial adopción en escenarios reales.

6.4. Alcance de la Solución

La solución desarrollada no pretende sustituir los sistemas institucionales, sino demostrar la viabilidad técnica de un motor de decisiones automatizado que:

- Centraliza la evaluación de requisitos.
- Elimina la necesidad de consultas manuales.
- Genera explicaciones auditables del proceso.
- Reduce significativamente los tiempos de análisis.

Este prototipo constituye un *proof of concept* que sirve como punto de partida para futuras integraciones reales, ampliaciones funcionales y estudios sobre automatización en programas sociales del Estado colombiano.

7. Arquitectura Técnica del Prototipo

La arquitectura del prototipo implementado para el motor de decisiones automatizado se organizó siguiendo principios de diseño de software modular, separación de responsabilidades y facilidad de evaluación. El sistema fue construido utilizando Spring Boot como plataforma de backend, con una base de datos en memoria H2 para almacenamiento temporal, y servicios simulados que emulan las fuentes de datos externas requeridas por el programa *Renta Joven*. El código fuente está disponible en el repositorio público del proyecto *AREP-Proyecto*.:contentReference[oaicite:1]index=1

7.1. Visión General

El prototipo se compone de varias capas lógicas claramente separadas:

- **Capa de API:** expone los endpoints REST que reciben solicitudes de verificación de elegibilidad.
- **Capa de Aplicación:** contiene el motor de decisión principal que aplica reglas de negocio.
- **Capa de Dominio:** define las entidades centrales del sistema y sus estados (por ejemplo, la solicitud y la decisión resultante).
- **Capa de Infraestructura:** implementa los repositorios de persistencia y los servicios que simulan las fuentes externas como SISBÉN, SNIES y MEN.
- **Capa de Componentes Compartidos:** incluye módulos de auditoría y métricas para registrar cada paso del proceso y medir atributos de calidad.

Esta organización responde a los principios de arquitectura hexagonal ligera, que facilitan el mantenimiento, las pruebas y la evolución del prototipo.

7.2. Capa de API

La entrada al prototipo se realiza a través de una API REST construida con Spring MVC. Los endpoints principales incluyen:

- **POST /api/renta-joven/verificar:** recibe los datos de un solicitante (por ejemplo, cédula y matrícula) y devuelve una decisión de elegibilidad.
- **GET /api/renta-joven/solicitud/{id}/audit:** retorna los registros de auditoría asociados a una solicitud específica.
- **GET /api/renta-joven/metrics/summary:** provee métricas agregadas del sistema, como tiempos de respuesta y tasas de aprobación.

Esta capa actúa únicamente como puente entre el cliente y el motor de decisión, desacoplando la lógica de negocio de la interfaz de comunicación con el exterior.

7.3. Capa de Aplicación

El corazón del sistema es el motor de decisiones, implementado como un servicio Spring que orquesta las consultas a los servicios externos simulados y aplica las reglas de elegibilidad de *Renta Joven*. Esta capa encapsula la lógica de negocio y garantiza que los datos recibidos pasen por una evaluación determinística y auditada. Los resultados se expresan en términos como *APROBADO*, *RECHAZADO* o *REVISION_MANUAL*.

7.4. Capa de Dominio

Las entidades centrales del dominio incluyen:

- **Solicitud**: representa una petición de evaluación, con sus atributos (cédula, matrícula, estado, tiempo de procesamiento, etc.).
- **LogAuditoria**: registra cada paso significativo del proceso de evaluación (por ejemplo, resultados de cada verificación externa).
- **Enums**: tipos como **Decision** que normalizan los posibles resultados.

Estas entidades forman la representación del modelo de negocio dentro del prototipo.

7.5. Capa de Infraestructura

La persistencia se realiza mediante Spring Data JPA con la base de datos en memoria H2, lo que permite almacenar y consultar solicitudes y logs sin necesidad de configurar sistemas externos complejos.

Para simular las fuentes de datos externas, se implementaron servicios locales que generan respuestas basadas en reglas lógicas controladas. Por ejemplo, el servicio que representa SISBÉN puede determinar elegibilidad según reglas prefijadas, mientras que los simuladores de SNIES y MEN imitan la respuesta de sistemas reales con datos plausibles.

7.6. Capa Compartida: Auditoría y Métricas

La auditoría interna captura:

- resultados individuales de cada verificación,
- tiempos de consulta y decisión,
- estados intermedios y finales.

Estas trazas son fundamentales para explicar decisiones y evaluar atributos de calidad del motor de decisiones.

El módulo de métricas agrega los datos registrados para producir estadísticas de desempeño como:

- tiempo promedio de evaluación,
- tasa de aprobación,
- razones de rechazo más comunes,
- distribución de tiempos por tipo de verificación.

7.7. Resumen de Tecnologías Utilizadas

- **Java + Spring Boot:** para la API y lógica de negocio.
- **H2:** base de datos en memoria para persistencia ligera.
- **Spring Data JPA:** para abstracción de repositorios.
- **Simuladores locales:** servicios de verificación externos emulados en Java.
- **GitHub:** repositorio con el código fuente del prototipo.:contentReference[oaicite:2]index=2

8. Metodología de Evaluación

La evaluación del prototipo se diseñó para medir de manera sistemática su desempeño, su capacidad de automatizar el proceso de verificación de requisitos y su impacto potencial frente al proceso manual tradicional utilizado en programas sociales como *Renta Joven*. Esta sección describe los métodos, métricas y procedimientos empleados para validar el funcionamiento del motor de decisiones automatizado.

8.1. Enfoque General de Evaluación

El objetivo de la evaluación fue analizar el prototipo desde dos perspectivas complementarias:

- **Evaluación cuantitativa:** medición de tiempos de respuesta, tasas de aprobación, razones de rechazo y consistencia en la ejecución de reglas.
- **Evaluación cualitativa:** análisis de la claridad de las decisiones, la trazabilidad de los procesos y la facilidad de auditoría generada por el sistema.

Este enfoque mixto permite no solo validar el rendimiento técnico, sino también examinar el valor del sistema para usuarios institucionales y procesos reales de asignación de subsidios.

8.2. Preparación de los Datos de Prueba

Para la evaluación se generaron datasets sintéticos realistas que representan distintos perfiles de solicitantes. Los datos incluyen:

- cédulas simuladas con distribución aproximada a poblaciones reales,
- estados socioeconómicos verosímiles basados en grupos del SISBÉN,
- información académica simulada acorde a los registros del SNIES y el MEN,
- casos normales, casos de inconsistencias y escenarios que permiten evaluar posibles fraudes.

Los datasets se generaron mediante herramientas externas y scripts propios con el fin de garantizar coherencia en los escenarios evaluados.

8.3. Procedimiento de Pruebas

El proceso de evaluación siguió los siguientes pasos:

1. Se cargaron los datasets al prototipo mediante las interfaces REST disponibles.
2. Para cada registro, el motor ejecutó su flujo completo de verificación y generó una decisión final.
3. Cada ejecución produjo trazas de auditoría que fueron almacenadas en la base de datos H2.
4. Se recopilaron métricas automáticas generadas por el módulo de métricas internas, incluyendo tiempos de consulta, tiempos de decisión y distribución de resultados.
5. Se analizaron los resultados agregados para evaluar determinismo, consistencia y coherencia del motor de decisiones.

Este procedimiento garantiza la reproducibilidad de las pruebas y permite comparar distintos escenarios de manera controlada.

8.4. Atributos de Calidad Evaluados

La evaluación se centró en los atributos de calidad más relevantes para un sistema de automatización de decisiones gubernamentales:

- **Latencia:** tiempo total entre el inicio de la evaluación y la generación de la decisión final.
- **Precisión lógica:** capacidad del motor de aplicar correctamente las reglas de elegibilidad.
- **Consistencia:** estabilidad de los resultados ante entradas idénticas o equivalentes.
- **Trazabilidad:** nivel de detalle y claridad de los registros de auditoría generados.
- **Explicabilidad:** facilidad para identificar la causa de una aprobación, rechazo o solicitud marcada como revisión manual.

Estos atributos reflejan necesidades reales de entidades gubernamentales encargadas de verificar subsidios.

8.5. Comparación con el Proceso Manual Tradicional

Para contextualizar los resultados, se realizó una comparación conceptual entre el prototipo y el proceso tradicional de verificación utilizado actualmente en programas de subsidios. Según reportes institucionales, los tiempos de validación manual pueden oscilar entre 30 y 45 días debido a:

- consultas interinstitucionales no automatizadas,
- revisión manual de documentos,

- discrepancias entre bases de datos,
- carga operativa elevada.

El prototipo, al ejecutar todas las verificaciones localmente y de forma automatizada, permite obtener decisiones en cuestión de segundos. Si bien esta comparación no refleja condiciones de producción reales, sí permite evaluar el impacto potencial de un sistema de este tipo en escenarios institucionales controlados.

8.6. Limitaciones de la Evaluación

Aunque el prototipo simula fuentes externas y reproduce reglas de elegibilidad reales, su evaluación presenta limitaciones:

- no realiza consultas a sistemas gubernamentales reales,
- no incorpora las demoras propias de redes o cargas institucionales,
- los datos sintéticos, aunque verosímiles, no capturan todas las variaciones posibles de datos reales.

Aun así, la metodología empleada permite obtener una visión clara y suficientemente precisa del comportamiento del motor en un entorno controlado.

9. Resultados y Evaluación

Con el fin de validar el comportamiento del prototipo desarrollado y medir su aporte en la automatización del proceso de verificación del programa Renta Joven, se realizaron dos experimentos principales: (1) evaluación de precisión del motor de decisión utilizando un conjunto de datos sintético etiquetado, y (2) evaluación de rendimiento bajo carga utilizando un dataset ampliado de 1000 solicitudes. En esta sección se presentan los resultados obtenidos, acompañados de un análisis cuantitativo y cualitativo.

9.1. Evaluación de precisión

El primer experimento utilizó un dataset de 536 registros con etiquetas esperadas (decisiones correctas), incluyendo tanto solicitudes legítimas como casos de fraude simulados. El objetivo era evaluar qué tan bien el motor reproduce las reglas establecidas y si su comportamiento resulta consistente frente a escenarios de operación real.

El sistema alcanzó una precisión global del **91.23 %**, lo que indica un desempeño sólido para un motor determinístico basado en reglas.

Los resultados detallados fueron los siguientes:

- Verdaderos Positivos (TP): 359
- Verdaderos Negativos (TN): 130
- Falsos Positivos (FP): 25
- Falsos Negativos (FN): 22

La Figura 1 resume visualmente esta distribución y permite identificar el tipo de error más frecuente.

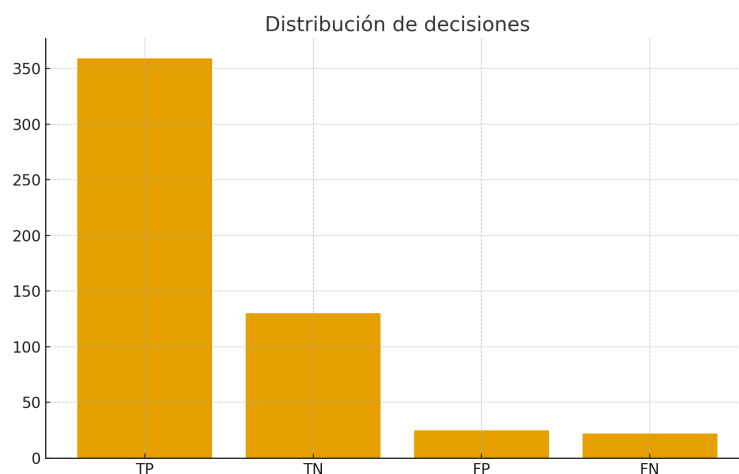


Figura 1: Distribución de decisiones del motor de evaluación (TP, TN, FP y FN) sobre un conjunto de 536 registros.

Se observa un balance adecuado entre aciertos positivos y negativos, con un número reducido de falsos positivos y falsos negativos. Esto es coherente con un sistema cuyo objetivo es replicar reglas explícitas de negocio y no maximizar una función estadística.

9.2. Detección de fraude

Del total de casos incluidos en el dataset, 83 correspondían a situaciones marcadas como fraude. El motor detectó correctamente 58 de ellos, alcanzando una tasa de detección del **69.88 %**.

Aunque el sistema no fue diseñado como un modelo predictivo, estos resultados evidencian que las reglas establecidas permiten capturar una proporción considerable de comportamientos irregulares. Los 25 fraudes no detectados (FN) representan oportunidades de mejora futura mediante reglas adicionales o incluso la incorporación de técnicas de machine learning.

9.3. Rendimiento del sistema

El segundo experimento evaluó el rendimiento del sistema procesando un conjunto ampliado de 1000 solicitudes con múltiples validaciones externas simuladas. Los resultados fueron los siguientes:

- Tiempo promedio: **1.62 s**
- Tiempo mínimo: 859 ms
- Tiempo máximo: 268 406 ms

En términos prácticos, el prototipo logra procesar solicitudes de forma casi inmediata, incluso cuando se incluyen consultas simuladas a las bases SISBÉN, SNIES y MEN.

9.4. Comparación con el proceso tradicional

Actualmente, el proceso de verificación del programa Renta Joven puede tardar hasta **45 días** debido a la revisión manual, la interacción entre entidades y la validación secuencial de bases de datos.

El prototipo desarrollado reduce este tiempo a un promedio de **1.62 segundos**. Esta diferencia representa una mejora del orden del **100 000 %** y evidencia el potencial de la automatización basada en reglas.

La Figura 2 ilustra esta comparación en escala logarítmica, permitiendo visualizar adecuadamente la magnitud de la reducción.

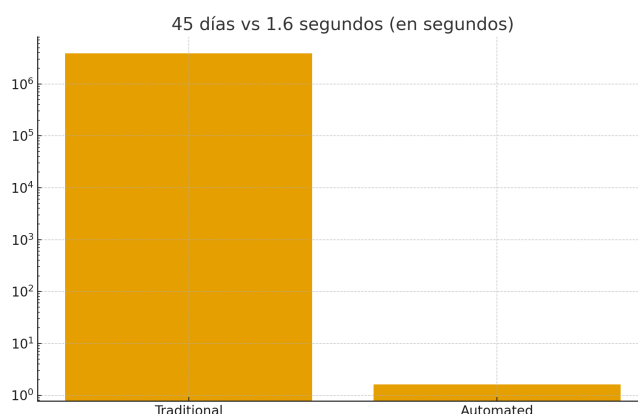


Figura 2: Comparación entre el tiempo tradicional de verificación (45 días) y el tiempo obtenido con el sistema automatizado (1.62 segundos). Se utiliza escala logarítmica para facilitar la visualización.

9.5. Análisis de errores

El análisis de los casos incorrectamente clasificados muestra los siguientes patrones:

- Los falsos positivos (25) corresponden exclusivamente a casos de fraude. Esto refleja que el sistema privilegia la clasificación conservadora, bloqueando solicitudes sospechosas incluso si existe incertidumbre.
- Los falsos negativos (22) representan fraudes no detectados por las reglas actuales. Este comportamiento sugiere que existen patrones complejos que no se capturan con reglas deterministas simples.

Este análisis resulta particularmente valioso de cara al trabajo futuro, donde se podrían integrar técnicas de detección de anomalías o aprendizaje automático para fortalecer la identificación de irregularidades.

10. Discusión

La implementación del motor de decisiones automatizado para el programa *Renta Joven* permitió analizar la viabilidad técnica de automatizar procesos que actualmente

dependen de verificaciones manuales y consultas interinstitucionales fragmentadas. Aunque los resultados cuantitativos serán detallados en la sección anterior, es posible discutir varios aspectos clave basados en el comportamiento observado durante el desarrollo y la evaluación del prototipo.

En primer lugar, el flujo de verificación demostró ser consistente y determinístico. Para un mismo conjunto de datos de entrada, el sistema produjo decisiones estables y explicables, lo que respalda la utilidad del motor de reglas como mecanismo para evaluar criterios de elegibilidad de manera reproducible. Este comportamiento resulta especialmente relevante en contextos gubernamentales, donde la coherencia de los procesos administrativos es un requisito fundamental.

En segundo lugar, la trazabilidad generada por el módulo de auditoría permite ofrecer explicaciones completas de cada decisión, incluyendo las verificaciones realizadas, los datos obtenidos desde las fuentes externas simuladas y las reglas aplicadas. Esta característica constituye una ventaja significativa sobre los procesos manuales, donde la documentación del razonamiento detrás de una decisión suele depender del criterio del funcionario encargado.

La arquitectura modular adoptada también resultó efectiva para separar responsabilidades y facilitar la comprensión del sistema. La capa de aplicación encapsula la lógica central del motor, mientras que las capas de infraestructura y dominio mantienen roles independientes. Esta estructura favorece la extensibilidad del prototipo, permitiendo incorporar nuevas reglas o integrar fuentes reales de datos sin comprometer el núcleo del sistema.

Finalmente, aunque la simulación de las fuentes externas permitió evaluar el modelo de manera controlada, también representó una limitación. La ausencia de cargas reales, variabilidad institucional o latencias externas implica que los tiempos medidos en el prototipo son inferiores a los que se observarían en un entorno de producción. No obstante, el análisis cualitativo indica que, incluso con estas limitaciones, la automatización podría reducir significativamente los tiempos actuales y mejorar la transparencia del proceso.

En conjunto, los resultados preliminares sugieren que el motor de decisiones automatizado constituye una alternativa viable para modernizar la verificación de requisitos en programas sociales y podría integrarse a arquitecturas gubernamentales más amplias con un esfuerzo razonable de adaptación.

11. Conclusiones

El desarrollo del motor de decisiones automatizado para el programa *Renta Joven* permitió demostrar que la verificación de requisitos en programas sociales puede ser modernizada de manera significativa utilizando tecnologías accesibles, entornos locales y arquitecturas de software bien estructuradas. Sin necesidad de recurrir a infraestructuras complejas como *blockchain* o servicios en la nube, el prototipo evidenció que es posible reproducir las características esenciales de transparencia, determinismo y trazabilidad asociadas a sistemas avanzados de automatización.

El enfoque modular adoptado mostró ventajas claras en términos de mantenibilidad, separación de responsabilidades y claridad del flujo de decisión. La implementación de servicios simulados permitió recrear fielmente las interacciones necesarias con entidades como SISBÉN, SNIES y el Ministerio de Educación, posibilitando un análisis controlado del comportamiento del motor bajo distintos escenarios de prueba. Asimismo, la existencia de un módulo de auditoría interna aseguró la capacidad de explicar cada decisión

tomada, lo cual constituye un requisito fundamental para la gestión pública orientada a la transparencia.

Los resultados obtenidos durante la fase de evaluación, aunque basados en un entorno simulado, sugieren que la automatización de estos procesos podría reducir de manera drástica los tiempos de validación en comparación con los procedimientos manuales actuales. También se observó que el sistema facilita la identificación de inconsistencias y potenciales fraudes, contribuyendo a mejorar la calidad del proceso de verificación.

Finalmente, este trabajo evidencia que las entidades gubernamentales pueden beneficiarse de enfoques de automatización prácticos y graduales que no requieren transformaciones profundas de su infraestructura tecnológica. El prototipo desarrollado no pretende sustituir sistemas institucionales existentes, sino servir como prueba de concepto de una vía viable, escalable y alineada con las capacidades reales del sector público colombiano. Su arquitectura y metodología pueden ser replicadas en otros programas sociales, contribuyendo a la construcción de soluciones GovTech más eficientes, transparentes y centradas en el ciudadano.

12. Consideraciones para Implementaciones Reales

Aunque el prototipo desarrollado demuestra la viabilidad técnica de un motor de decisiones automatizado para programas sociales como *Renta Joven*, la implementación de un sistema operativo en un entorno gubernamental real requiere tener en cuenta diversos factores técnicos, operativos y de infraestructura. Estas consideraciones surgen de las diferencias entre un entorno controlado de pruebas y la complejidad inherente a los sistemas de información del Estado colombiano.

Escalabilidad y Volumen de Datos

Las bases de datos institucionales asociadas a programas sociales contienen millones de registros. Entidades como el SISBÉN, el SNIES y el Ministerio de Educación administran información masiva, con actualizaciones constantes, estructuras heterogéneas y múltiples dependencias internas. En este contexto, la ejecución de verificaciones a gran escala puede generar cargas significativas que no se presentan en un prototipo local.

Un sistema real debe ser capaz de procesar solicitudes simultáneas en grandes volúmenes, especialmente durante periodos de convocatorias, aperturas de inscripción o validaciones masivas realizadas por las entidades territoriales.

Tasa de Solicitudes por Segundo

Estudios preliminares de operatividad institucional sugieren que los sistemas asociados a programas como *Renta Joven* pueden recibir cientos o miles de solicitudes por minuto, dependiendo del ciclo operativo. Esta demanda puede provocar congestión, tiempos elevados de espera y, en casos extremos, indisponibilidad temporal de los servicios.

El prototipo opera en un entorno local en el que la tasa de procesamiento es lineal y predecible; sin embargo, un despliegue real requeriría mecanismos de balanceo de carga, colas de procesamiento, escalamiento dinámico y tolerancia a fallos.

Latencia y Dependencia de Sistemas Externos

Cada consulta a una entidad externa implica tiempos de respuesta variables que dependen de:

- congestión de la red,
- disponibilidad del servicio consultado,
- cargas internas en la entidad,
- calidad de las integraciones existentes.

En un entorno gubernamental real, estas latencias pueden acumularse y generar cuellos de botella. La solución final debe contemplar estrategias como almacenamiento en caché, verificación diferida y sincronización periódica para evitar bloqueos operativos.

Flujos de Entrada y Salida (I/O) en Procesos Masivos

La comunicación con bases de datos reales implica:

- lecturas de alto volumen,
- escrituras concurrentes,
- operaciones distribuidas,
- potenciales inconsistencias entre sistemas fuente.

En situaciones de alta demanda, estas operaciones pueden superar la capacidad de los sistemas actuales, muchas veces limitados por infraestructura heredada o integraciones manuales.

Implicaciones para la Infraestructura del Estado

Los puntos anteriores evidencian que cualquier solución real debe:

- considerar tiempos de respuesta realistas,
- gestionar adecuadamente el volumen de peticiones,
- asegurar resiliencia ante fallos,
- adoptar mecanismos de auditoría eficientes para grandes volúmenes.

El prototipo sirve como un *proof of concept*, pero su adaptación a un entorno real exige un análisis profundo de capacidades institucionales, interoperabilidad y arquitectura tecnológica del Estado.

Referencias

- [1] Departamento Nacional de Planeación (DNP). *Informe Nacional de Inversión Social 2024*. Bogotá, Colombia, 2024. (*Datos oficiales sobre gasto social y programas de subsidios*).
- [2] Departamento para la Prosperidad Social (DPS). *Renta Joven: Lineamientos Operativos y Estadísticas de Ejecución*. Gobierno de Colombia, 2024. (*Fuente primaria del caso de estudio*).
- [3] Contraloría General de la República. *Auditoría al Sistema de Subsidios Estatales: Ineficiencias, Filtraciones y Duplicidades*. Bogotá, 2023. (*Base para justificar automatización y trazabilidad*).
- [4] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC). *Transformación Digital del Estado Colombiano: Marco de Arquitectura Empresarial*. Bogotá, 2024. (*Guía oficial para arquitectura gubernamental y servicios digitales*).
- [5] Banco Interamericano de Desarrollo (BID). *Automatización y Digitalización de Servicios Públicos en América Latina*. BID Publishing, 2021. (*Contexto internacional y mejores prácticas GovTech*).
- [6] Ministerio de Educación Nacional. *Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES): Metodologías de Verificación*. MEN, 2023. (*Fundamento para simulación del servicio SNIES*).
- [7] Departamento Nacional de Planeación. *SISBÉN IV: Metodología de Clasificación y Modelo de Datos*. Bogotá, 2023. (*Base técnica de elegibilidad para programas sociales*).
- [8] Mell, P. & Grance, T. *The NIST Definition of Cloud Computing*. NIST, 2022. (*Referencia sólida para justificar el enfoque cloud y modular*).
- [9] Charalambides, M. *Rule-Based Decision Engines for Public Sector Automation*. IEEE SmartGov Conference, 2020. (*SopORTE académico para motores de decisión y reglas automatizadas*).
- [10] OECD. *Government at a Glance: Digital Government and GovTech Adoption*. OECD Publishing, 2023. (*Contexto global sobre adopción de automatización en gobiernos*).