



**UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES PARA EJECUTIVOS  
CARRERA DE INGENIERÍA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS EPE**

**0000-0003-2850-000X – PÉREZ AQUINO, DANIEL HUMBERTO**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN SOBRE APLICACIÓN DE MÉTODOS DE  
BÚSQUEDA POR HEURÍSTICA SOBRE EL PROCESO DE ADMINISTRACIÓN DE  
ASIGNACIONES DE RECURSOS HUMANOS A PROYECTOS DE TECNOLOGÍAS  
DE INFORMACIÓN BAJO EL MARCO DE TRABAJO DE UNA FÁBRICA DE  
SOFTWARE**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLER**

**ASESOR:  
LOPEZ PEREZ, SAMANTHA DEL CARMEN**

**Lima, Setiembre de 2017**



## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme dado la oportunidad de lograr uno de los principales objetivos que tenía en la vida, el cual era culminar mis estudios universitarios, y a mis padres, por su constante apoyo a lo largo de toda mi formación académica.



## **AGRADECIMIENTOS**

Al director académico de la facultad de Ingeniería, Yamil Ramos, y a la coordinadora de la carrera de Ingeniería de Sistemas, Samantha Lopez, por haberme brindado las orientaciones necesarias para la elaboración del presente trabajo.

A los profesores César Lepage y María del Rosario Rojas por su aporte en mi formación académica, ya que a través de sus clases y asesorías me ayudaron a mejorar mis capacidades de análisis e investigación.



## RESUMEN

El presente trabajo realiza un análisis sobre el proceso de administración de asignaciones de recursos humanos a proyectos de tecnologías de información dentro del marco de trabajo de una fábrica de software (ver glosario) y propone la utilización de algoritmos (ver glosario) de búsqueda por heurística para brindar soporte a dicho proceso, logrando la optimización y agilización del mismo.

El trabajo se encuentra dividido en 3 partes principales, las cuales son: Objetivos, en la cual se definen el objetivo general y los objetivos específicos; Marco teórico, donde se abordan los conceptos de inteligencia artificial (ver glosario) relacionados a métodos de búsqueda por heurística y Antecedentes, sección en la que se describen soluciones alternativas a la planteada en el presente documento.

Palabras clave: Algoritmo, Asignación, Búsqueda, Heurística, Método.

The present document makes an analysis on the process of administration of human resources assignments into information technology projects in the framework of a software factory and proposes the use of heuristic search algorithms to support this process, achieving optimization and making it more agile.

The content is divided in 3 main parts, which are: Objectives, in which the general objective and the specific objectives are defined; Theoretical framework, which contain the concepts of artificial intelligence related to heuristic search methods, and Background, the section in which alternative solutions are described.

Keywords: Algorithm, Allocation, Search, Heuristic, Method.



## TABLA DE CONTENIDO

LISTAS ESPECIALES.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
OBJETIVOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	7
MARCO TEÓRICO.....	8
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
CONCLUSIONES.....	26
BIBLIOGRAFÍA.....	27
GLOSARIO.....	28
SIGLARIO.....	29
ANEXOS.....	30



## LISTAS ESPECIALES

ÁRBOL DE BÚSQUEDA.....	13
FUNCIÓN HEURÍSTICA.....	15
DIAGRAMA DE FLUJO DE ALGORITMO DE ASIGNACIÓN.....	19
TABLA DE COSTOS POR TÉCNICO Y SERVIDOR.....	23



## INTRODUCCIÓN

En el rubro de tecnologías de información, bajo el cual se desempeña una fábrica de software, el proceso en el que se realiza la asignación de recursos humanos a los proyectos de la empresa, es muy importante ya que el factor humano es determinante para que el equipo de trabajo logre los objetivos planteados de manera eficaz y eficiente.

A lo largo de la historia, las fábricas de software han llevado a cabo este proceso de forma manual, basándose únicamente en la experiencia de la persona que realiza la asignación de los recursos o apoyándose en programas de ofimática (ver glosario) para monitorear los recursos utilizados y disponibles. Sin embargo, con el paso de los años, se ha demostrado que esta forma de trabajo no es óptima cuando existe una gran cantidad de variables (ver glosario) que pueden influir sobre la decisión de asignar un recurso u otro, o cuando simplemente la cantidad de recursos humanos gestionados es muy alta. Estas razones, y la alta competitividad que atraviesa el mercado de las tecnologías de información, han generado en las fábricas de software la necesidad de resolver esta problemática de una forma distinta.

Existen diversos modelos matemáticos que brindan soporte al problema de asignación de recursos, como los modelos de programación lineal, métodos de búsqueda, etc. No obstante, el presente trabajo tendrá como tema central la aplicación métodos de búsqueda por heurística (ver glosario).

Finalmente, las fuentes de información citadas en el presente trabajo fueron obtenidas a través del portal web de recursos de investigación que ofrece la universidad y de libros que cuentan con un grado de aceptación alto por parte de la comunidad que estudia el tema al que hacen referencia.



## **OBJETIVOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

### **Objetivo general**

Plantear una solución al proceso de administración de asignaciones de recursos humanos a proyectos de tecnologías de información a través del uso de algoritmos de búsqueda por heurística.

### **Objetivos específicos.**

- Analizar los conceptos y lógica de los métodos de búsqueda, haciendo énfasis en los métodos de búsqueda por heurística.
- Demostrar a través de un caso práctico, basado en la problemática de asignación de recursos, la implementación de un algoritmo basado en métodos de búsqueda por heurística.
- Abordar a alto nivel los antecedentes y soluciones alternativas desarrolladas a la fecha para el problema estudiado.





## MARCO TEÓRICO

El desarrollo de software es una de las actividades cuya demanda ha mostrado mayor crecimiento en los últimos años tanto en los países desarrollados como en los que se encuentran en vías de desarrollo. Y es que, en efecto, día tras día, los negocios a nivel mundial incrementan exponencialmente su dependencia respecto al software, lo cual se ve reflejado en la presencia de sistemas informáticos en todos los sectores, los cuales terminan siendo vitales para el funcionamiento y progreso de la sociedad.

Bajo estas circunstancias, si bien las empresas tienen como finalidad enfocar sus recursos, esfuerzo y tiempo en sus actividades prioritarias, tampoco pueden descuidar la construcción y mantenimiento de los sistemas que utilizan, ya que estos sirven de apoyo fundamental para mantener su operatividad. Debido a ello, las organizaciones buscan encontrar la manera más eficiente de cubrir sus necesidades tecnológicas y mantenerse actualizadas con las demandas del mercado.

Es así que surge la razón de ser de las fábricas de software. Según Bob Bemer, informático al cual se le otorga la creación del término fábrica de software durante el congreso IFIP realizado en el año 1968, una fábrica de software es una empresa del rubro de tecnologías de información cuya misión es dar mantenimiento a los sistemas de información productivos de sus clientes de acuerdo a sus especificaciones, permitiéndoles concentrarse en sus planes y proyectos estratégicos<sup>1</sup>. Este concepto ha ido madurando con el paso de los años, de manera que actualmente estas empresas pueden operar en las instalaciones del cliente o a distancia, además de ofrecer servicios de mantenimiento correctivo, a través de la solución de los defectos existentes en los sistemas del cliente; mantenimiento evolutivo, agregando, modificando o eliminando funcionalidades; y mantenimiento perfectivo, optimizando el código fuente y rendimiento de los aplicativos.



Para poder comprender cómo funcionan las fábricas de software, debe conocerse el ciclo de vida de un sistema. Según Roger Pressman, el ciclo de vida de un producto de software está compuesto por 5 fases<sup>7</sup>:

- Análisis de los requerimientos de software: Fase donde se capturan las necesidades del cliente y se transforman en especificaciones capaces de ser implementadas.
- Diseño del software: Etapa en la cual se define la arquitectura y estructura del sistema.
- Implementación: Donde en base los requerimientos y arquitectura diseñada se codifica la aplicación.
- Pruebas: Fase en la que se comprueba el correcto desempeño del sistema de acuerdo a las especificaciones realizadas.
- Mantenimiento: Etapa donde se agregan al sistema cambios o funcionalidades nuevas a solicitud del cliente.

Dado que la función principal de este tipo de empresas es la construcción del software, su proceso de negocio inicia con el análisis de las especificaciones brindadas por el cliente, las cuales describen de manera detallada las características y funcionalidades con las que debe contar el sistema a desarrollar o modificar. Es preciso indicar que esta actividad no es equivalente a realizar el análisis funcional y levantamiento de requerimientos del usuario, lo cual corresponde a la primera fase del ciclo de vida un sistema y comúnmente no forma parte de las tareas que realiza una fábrica de software. Luego, se procede con el desarrollo del sistema, se elabora la documentación respectiva, se realizan las pruebas unitarias e integrales, y se cierra el proyecto con la entrega del producto final al cliente. En caso de que existan inconformidades, el cliente reporta los defectos para que estos puedan ser subsanados.

Las principales ventajas de la tercerización (ver glosario) del desarrollo de sistemas a través de una fábrica de software se exponen a continuación:

- Utilización de recursos de programación solamente cuando es necesario.
- Minimización del tiempo y costo destinado al mantenimiento de los sistemas.



- Asignación de profesionales experimentados en las principales tecnologías de información.
- Preservación de la propiedad intelectual de las aplicaciones desarrolladas por la fábrica de software.
- Reducción de costos operativos relacionados a personal, equipos de cómputo, licencias de software, entre otros.

Una vez definido el modelo de trabajo de las fábricas de software, es posible ahondar en el significado del término proyecto.

Se define como proyecto a un esfuerzo temporal, el cual es llevado a cabo para crear un producto, servicio o resultado único<sup>8</sup>. Todo proyecto posee un inicio y final definidos. El final de un proyecto se determina cuando se han logrado los objetivos del mismo, cuando se tiene en claro que estos objetivos no podrán ser alcanzados, o cuando deja de existir la necesidad de implementarlo y el proyecto sea cancelado. Asimismo, el resultado final de un proyecto equivale a uno o varios entregables. Un entregable es un producto medible y verificable que es elaborado para completar un proyecto o parte de él<sup>8</sup>.

Todo proyecto posee un alcance definido y presenta hitos a lo largo de su desarrollo. Por su parte, la palabra alcance puede ser utilizada para referirse al producto o al proyecto. El alcance del producto indica las características y funciones del mismo, mientras que el alcance del proyecto delimita el trabajo que debe realizarse para entregar un producto, servicio o resultado con las funciones y características específicas. Por otro lado, se conoce como hito a un acontecimiento puntual y significativo que marca un momento importante en el desarrollo de un proyecto.

La entidad reconocida por excelencia en el ámbito de la gestión de proyectos es el PMI (ver siglario), por sus siglas en inglés, Instituto de Gestión de Proyectos, el cual se dedica a la definición de estándares aceptados a nivel mundial para la gestión de proyectos y cuenta con medio millón de personas certificadas distribuidas en 180 países. El producto del PMI con mayor reconocimiento es el PMBOK (ver siglario), o por sus siglas en inglés, Base de



Conocimientos de la Gestión de Proyectos. La principal bondad del PMBOK es que establece un marco de referencia formal para desarrollar proyectos, sirviendo de guía y orientando a los gerentes de proyectos sobre los pasos a seguir para la construcción de resultados y alcanzar los objetivos.

La quinta edición del PMBOK define los procesos de la gestión de proyectos, los cuales son<sup>8</sup>:

- **Iniciación:**  
Se reconoce que un proyecto debe comenzar.
- **Planificación:**  
Se mantiene un esquema trabajable para cumplir las necesidades del negocio sobre las cuales el proyecto debe tratar.
- **Ejecución:**  
Se coordinan personas y otros recursos para llevar a cabo el plan establecido.
- **Monitoreo y Control:**  
Se asegura que los objetivos del proyecto están siendo satisfechos mediante el monitoreo, medición progresiva y que se tomen acciones correctivas cuando sea necesario.
- **Cierre:**  
Se formaliza la aceptación del proyecto o de la fase llevando una finalización ordenada.

Dentro de estos procesos, la planificación es una etapa muy crítica, ya que es durante ella que se define el equipo de trabajo que ejecutará posteriormente el proyecto. La correcta o incorrecta elaboración del equipo de trabajo puede determinar de forma anticipada el éxito o fracaso del proyecto. A su vez, todo equipo de trabajo está compuesto por integrantes a los que se denominan recursos humanos.

Un recurso humano es un trabajador o empleado que forma parte de una empresa y que se caracteriza por desempeñar una lista de tareas específicas.



La elección de los recursos humanos que conformarán el equipo de trabajo del proyecto es muy importante debido a que las características y habilidades con las que debe contar cada uno de ellos varían de acuerdo a la naturaleza del proyecto. De esta manera, existen variables que deben ser consideradas durante dicho proceso, entre las que se encuentran: experiencia en el puesto, conocimiento del rubro del proyecto, desempeño en proyectos anteriores, entre otras.

En primera instancia, este proceso puede parecer sencillo de realizar, pero el problema se complica cuando las variables que pueden determinar la idoneidad de un recurso para un determinado proyecto son muchas, o cuando la dimensión del universo de recursos sobre los que tiene que distribuir los proyectos es tal que dificulta su gestión. Como puede apreciarse, realizar esta tarea de forma manual puede resultar bastante complejo, y es por ello que resolver esta problemática de forma eficiente es considerado como uno de principales retos que afrontan las fábricas de software.

El uso de algoritmos basados en inteligencia artificial con la finalidad de abordar esta problemática, es una tendencia hoy en día, ya que, a través de la especificación de una serie de parámetros, permiten determinar de una forma mucho más veloz y precisa, si un recurso humano cumple con una serie de características.

Antes de abordar el concepto de método de búsqueda, es necesario definir qué es un árbol de búsqueda y cuáles son sus componentes estructurales.

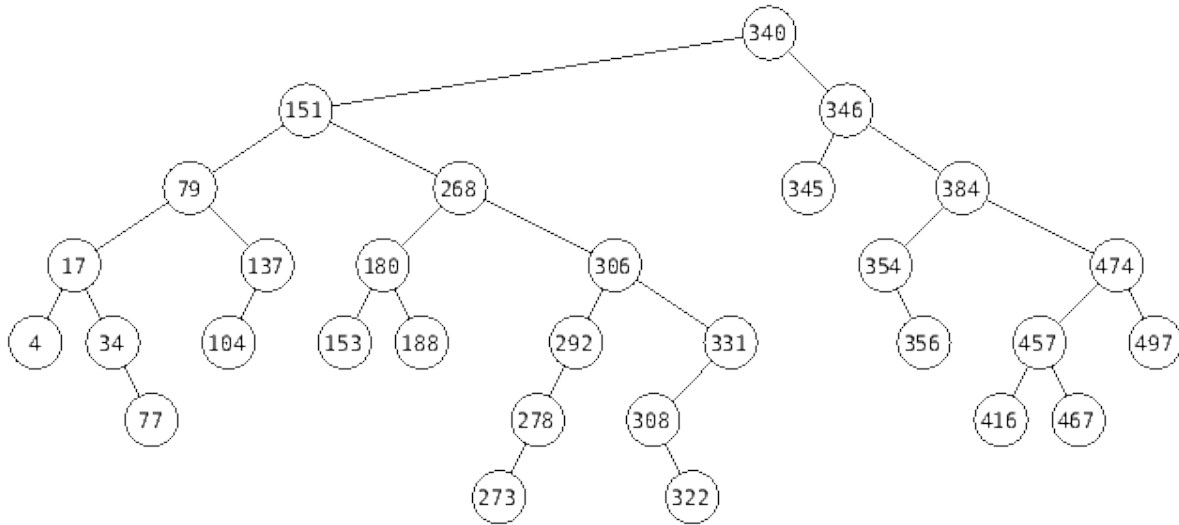


Figura 1: Árbol de búsqueda.

La figura anterior representa a un árbol de búsqueda, en el cual existen una gran cantidad de nodos, encabezados por el nodo padre (340) y cada uno de ellos, además, equivale a un estado y posee distintas conexiones, las cuales se denominan ramas.

Por otro lado, se conoce como método de búsqueda a un método que es diseñado para localizar un elemento (nodo) con ciertas propiedades (estado) dentro de una estructura de datos (árbol de búsqueda)<sup>5</sup>. Si se aplica este concepto al modelo de trabajo de una fábrica de software, un método de búsqueda puede permitir obtener como resultado un recurso humano, que, dentro de un grupo de trabajadores, cumpla con una serie de características, las cuales, en este caso, estarían dadas por el proyecto que se pretende atender.

Los métodos de búsqueda se clasifican en búsquedas sin contar con información o no guiadas y búsquedas respaldadas con información o guiadas.

Búsquedas sin contar con información:

- Búsqueda por amplitud: En esta búsqueda, todos los nodos que están en el mismo nivel de profundidad del árbol de búsqueda se expanden antes de los nodos que están en el siguiente nivel de profundidad.
- Búsqueda por profundidad: En esta búsqueda siempre se expande uno de los nodos que se encuentren en lo más profundo del árbol. Solo si la búsqueda conduce a un



callejón sin salida, se revierte la búsqueda y se expanden los nodos de niveles con menor profundidad. La principal desventaja de este tipo de búsqueda es que sufre el riesgo de generar un bucle infinito o que a la solución encontrada no sea la más óptima.

Búsquedas respaldadas con información:

- Búsqueda por costo: Esta búsqueda se caracteriza por contar con una función de costo que determina el costo que conlleva la transición de un nodo a otro, esta función, además, tiene como objetivo que se elija siempre el camino con menor costo. La aplicación de este tipo de búsqueda debe analizarse con detenimiento ya que por lo general no resulta ser la más óptima.
- Búsqueda por heurística: Según Pedro Ponce, heurística es un conjunto de reglas que evalúan la posibilidad de que una búsqueda vaya en la dirección correcta<sup>5</sup>. A este conjunto de reglas también se le conoce como función heurística, la cual tiene como retorno un valor que indica la proximidad al objetivo. Los métodos de búsqueda por heurística tienen como principal objetivo reducir la cantidad de búsqueda que es requerida para encontrar una solución.

Un caso práctico referente al problema de asignación de recursos humanos, perfectamente aplicable a la realidad cotidiana de una fábrica de software sería el de asignar desarrolladores de software a proyectos de tecnologías de información.

Se tienen proyectos de distintas prioridades: Alta, Media y Baja; donde esta prioridad es determinada por el cliente que solicita la ejecución del proyecto. Estos proyectos también requieren de un determinado nivel de conocimiento (Alto, Medio o Bajo) sobre tecnologías y sistemas del cliente.

Además, se tiene a un grupo 200 de desarrolladores, donde cada uno domina un a un cierto nivel (Alto, Medio o Bajo) un número de tecnologías y sistemas del cliente. Asimismo, cada uno de estos desarrolladores posee una fecha de ingreso a la compañía, un número de proyectos finalizados, puntaje de evaluaciones de desempeño, etc.



De todos los métodos de búsqueda analizados, el que se presta de mejor manera como solución a la problemática planteada es el método de búsqueda por heurística, porque a través de una correcta definición de una función heurística, es posible determinar que desarrollador es el más idóneo para llevar a cabo la implementación del proyecto de acuerdo a las características del mismo. Dicho esto, la función heurística propuesta es la siguiente:

```
//Por cada tecnología solicitada para el proyecto
Si NivelTecnologíaDesarrollador == NivelTecnologíaSolicitada
    PuntajeTecnologíaSistemaClienteDesarrollador += 5
Si NivelTecnologíaSolicitada - NivelTecnologíaDesarrollador = 1 O NivelTecnologíaSolicitada - NivelTecnologíaDesarrollador = -1
    PuntajeTecnologíaSistemaClienteDesarrollador += 3
Sino
    PuntajeTecnologíaSistemaClienteDesarrollador += 1

//Por cada sistema del cliente solicitado para el proyecto
Si NivelSistemaClienteDesarrollador == NivelSistemaClienteSolicitado
    PuntajeTecnologíaSistemaClienteDesarrollador += 5
Si NivelSistemaClienteSolicitado - NivelSistemaClienteDesarrollador = 1 O NivelSistemaClienteSolicitado - NivelSistemaClienteDesarrollador = -1
    PuntajeTecnologíaSistemaClienteDesarrollador += 3
Sino
    PuntajeTecnologíaSistemaClienteDesarrollador += 1

PuntajeDesarrollador += (PuntajeTecnologíaSistemaClienteDesarrollador / MáximoPuntajePosibleTecnologíaSistemaCliente) * 5

Si ProyectoTienePrioridadBaja
    Si FechaIngresoDesarrollador <= FechaHace5años
        PuntajeDesarrollador += 1
    Si FechaIngresoDesarrollador <= FechaHace3años
        PuntajeDesarrollador += 3
    Sino
        PuntajeDesarrollador += 5

    Si NúmeroProyectosFinalizadosDesarrollador >= TercioSuperiorProyectosFinalizadosTodosDesarrolladores
        PuntajeDesarrollador += 1
    Si NúmeroProyectosFinalizadosDesarrollador >= TercioMedioProyectosFinalizadosTodosDesarrolladores
        PuntajeDesarrollador += 3
    Sino
        PuntajeDesarrollador += 5

    Si PuntajeEvaluacionDesempenoDesarrollador >= TercioSuperiorPuntajeEvaluacionDesempenoTodosDesarrolladores
        PuntajeDesarrollador += 1
    Si PuntajeEvaluacionDesempenoDesarrollador >= TercioMedioPuntajeEvaluacionDesempenoTodosDesarrolladores
        PuntajeDesarrollador += 3
    Sino
        PuntajeDesarrollador += 5

Si ProyectoTienePrioridadMedia
    Si FechaIngresoDesarrollador <= FechaHace5años
        PuntajeDesarrollador += 3
    Si FechaIngresoDesarrollador <= FechaHace3años
        PuntajeDesarrollador += 5
    Sino
        PuntajeDesarrollador += 1

    Si NúmeroProyectosFinalizadosDesarrollador >= TercioSuperiorProyectosFinalizadosTodosDesarrolladores
        PuntajeDesarrollador += 3
    Si NúmeroProyectosFinalizadosDesarrollador >= TercioMedioProyectosFinalizadosTodosDesarrolladores
        PuntajeDesarrollador += 5
    Sino
        PuntajeDesarrollador += 1

    Si PuntajeEvaluacionDesempenoDesarrollador >= TercioSuperiorPuntajeEvaluacionDesempenoTodosDesarrolladores
        PuntajeDesarrollador += 3
    Si PuntajeEvaluacionDesempenoDesarrollador >= TercioMedioPuntajeEvaluacionDesempenoTodosDesarrolladores
        PuntajeDesarrollador += 5
    Sino
        PuntajeDesarrollador += 1

Si ProyectoTienePrioridadAlta
    Si FechaIngresoDesarrollador <= FechaHace5años
        PuntajeDesarrollador += 5
    Si FechaIngresoDesarrollador <= FechaHace3años
        PuntajeDesarrollador += 3
    Sino
        PuntajeDesarrollador += 1

    Si NúmeroProyectosFinalizadosDesarrollador >= TercioSuperiorProyectosFinalizadosTodosDesarrolladores
        PuntajeDesarrollador += 5
    Si NúmeroProyectosFinalizadosDesarrollador >= TercioMedioProyectosFinalizadosTodosDesarrolladores
        PuntajeDesarrollador += 3
    Sino
        PuntajeDesarrollador += 1

    Si PuntajeEvaluacionDesempenoDesarrollador >= TercioSuperiorPuntajeEvaluacionDesempenoTodosDesarrolladores
        PuntajeDesarrollador += 5
    Si PuntajeEvaluacionDesempenoDesarrollador >= TercioMedioPuntajeEvaluacionDesempenoTodosDesarrolladores
        PuntajeDesarrollador += 3
    Sino
        PuntajeDesarrollador += 1
```

Figura 2: Función heurística. Fuente propia.





Es posible representar una función heurística a través de pseudocódigo (ver glosario), diagramas de flujo, entre otros. Para esta ocasión se utilizó el formato de pseudocódigo debido a que refleja de mejor manera la lógica del algoritmo al mostrar los operadores matemáticos y brinda libertad para definir los nombres de las variables, lo cual permite que no sea necesario que una persona tenga conocimientos informáticos para poder comprender la lógica del algoritmo. Para las sentencias condicionales se utilizaron las palabras clave: Si y Sino. Por otro lado, los operadores matemáticos que se utilizaron fueron: == (igualdad), += (acumulación), - (resta), / (división), \* (multiplicación), <= (menor o igual) y >= (mayor o igual).

De esta manera, al momento recorrer el listado de desarrolladores disponibles, la función heurística definida permitirá calcular un puntaje de idoneidad por cada desarrollador, teniendo como resultado la elección del que tenga mayor puntaje para el proyecto en cuestión. Vale la pena recalcar que, de acuerdo a la lógica del algoritmo propuesto, no siempre se asignarán los desarrolladores con mayor experiencia y conocimientos a los proyectos, sino que, por lo contrario, lo que busca la función heurística definida, es distribuir adecuadamente a los desarrolladores según sus capacidades. Por ejemplo, no tendría sentido asignar al desarrollador con mayor experiencia de la empresa a un proyecto cuya prioridad y complejidad son bajas.

La función heurística propuesta considera las siguientes variables: conocimientos técnicos, conocimientos funcionales (sistemas del cliente), fecha de ingreso del trabajador a la empresa, número de proyectos finalizados y puntaje de evaluaciones de desempeño. Asimismo, cada una de estas variables tiene un peso determinado de acuerdo a la prioridad del proyecto solicitado. Un claro ejemplo de ello es que, si la variable FechaIngresoDesarrollador es mayor a 5 años, lo cual es un indicador de que el trabajador cuenta con bastante experiencia, para un proyecto de prioridad alta se incrementa en 5 unidades el puntaje del desarrollador. Sin embargo, si se tratara de un proyecto de prioridad baja, se otorgaría el puntaje mínimo, el cual es 1.

Vale recalcar que es posible definir una función heurística para realizar la asignación no solo de desarrolladores de software, sino también de otras posiciones, como, por ejemplo, jefes de



proyectos, donde, por consecuencia, la función deberá considerar otro tipo de variables, las cuales permitan determinar la idoneidad del recurso.

Finalmente, como puede verificarse, realizar el proceso de asignación de los recursos humanos aplicando métodos de búsqueda por heurística sería mucho más rápido y eficiente en detrimento de llevarlo a cabo de forma manual. Además, la lógica de la función heurística puede modificarse de acuerdo a las necesidades del negocio de la empresa.



## ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

### APLICACIONES ALTERNATIVAS DE MÉTODOS DE BÚSQUEDA POR HEURÍSTICA

Actualmente, la aplicación de métodos de búsqueda por heurística para la solución de problemas de asignación de recursos es bastante reducida en empresas dedicadas al desarrollo de software. Sin embargo, existen rubros en los que su uso se ha ido incrementando con el paso de los años. Uno de estos sectores es la educación.

Elaborar los horarios de clases de una universidad puede llegar a ser un proceso bastante complicado de realizar de forma manual debido a la diversa cantidad de variables que intervienen. Entre las principales se encuentran:

- Cantidad, disponibilidad de horarios y dominio de materias de cada profesor.
- Cantidad de horas que deben dictarse por curso.
- Materias que deben ser dictadas por carrera.

Es por ello que existen estudios como el elaborado por Marcelo Damián Parrino<sup>3</sup>, que plantea la implementación de un sistema informático que ejecute un algoritmo basado en búsqueda por heurística, para así poder asignar los recursos, en este caso, los profesores, de una forma más rápida y precisa.

Las variables consideradas, los datos de entrada y las características propias del algoritmo, están alineadas con la problemática de asignación de recursos que atraviesa la Universidad de Palermo, la cual se encuentra en Buenos Aires, Argentina.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo elaborado por el autor, el cual explica el funcionamiento del algoritmo de asignación:

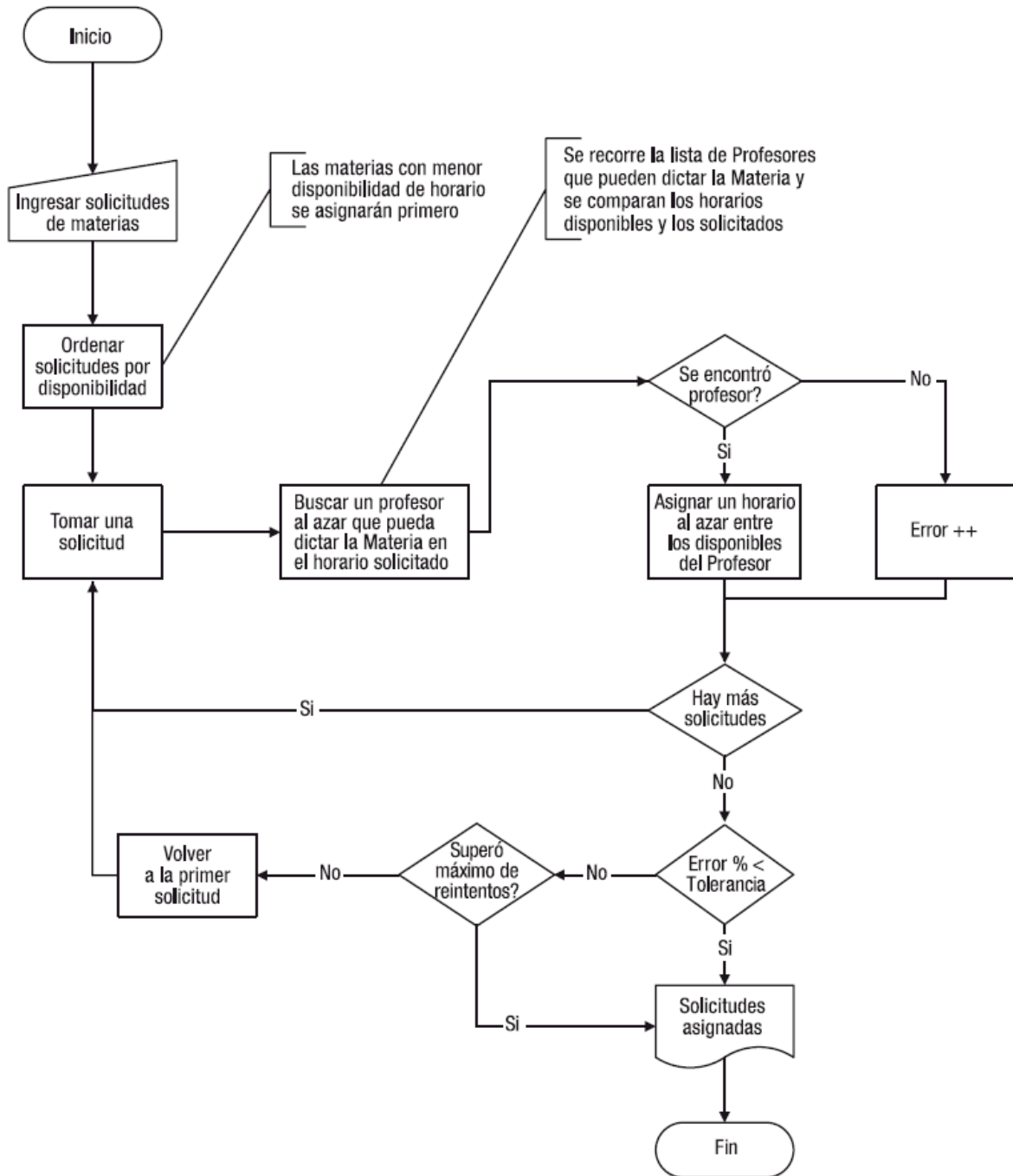


Figura 3: Diagrama de flujo de algoritmo de asignación.

Como puede apreciarse, el diagrama evidencia una ligera similitud con la problemática que atraviesan las fábricas de software, ya que todo el proceso se inicia con la recepción de una lista de solicitudes de materias a dictar (requerimientos de proyectos a implementar en el caso de las fábricas de software), luego se realiza el procesamiento de información a través de la



función heurística, la cual considera las variables anteriormente mencionadas, y finalmente se obtiene como resultado los profesores asignados a las solicitudes (equipo de trabajo o desarrolladores asignados al requerimiento en el caso de las fábricas de software).

Sin embargo, lo que hace bastante único este planteamiento es que se incluyen en el algoritmo dos variables que muchas veces son ignoradas al momento de construir un sistema de estas características. Estas variables son el porcentaje de errores y el número máximo de reintentos. De esta manera, la generación de asignaciones se considera exitosa solo cuando el porcentaje de errores no supera al definido por el usuario. En caso de que el intento de asignación falle, se procede a realizar un nuevo intento, el cual, al mismo tiempo, solo será posible si no se ha alcanzado el número de reintentos definidos. A pesar de que estas validaciones adicionales incrementan levemente el tiempo de procesamiento del algoritmo, el hecho de incluirlas permite mayor flexibilidad de cara al usuario ya que no todos los usuarios se encuentran dispuestos a esperar la misma cantidad de tiempo para obtener los resultados esperados. Además, omitir estas variables podría ocasionar en ciertas ocasiones que la ejecución del algoritmo continúe infinitamente o reduzca su precisión y/o confiabilidad.

Otro punto a considerar es que la lista de solicitudes que se recibe es ordenada de menor a mayor disponibilidad, es decir que primero se asignan profesores a las materias que se dictan una menor cantidad de horas. Esta lógica específica es diferente a la propuesta en el algoritmo para asignar desarrolladores a proyectos descrito en el capítulo anterior, ya que para dicho caso se consideró más pertinente ordenar los proyectos de forma descendente de acuerdo a su complejidad (la complejidad estaba determinada por la cantidad de desarrolladores y/o cantidad de habilidades técnicas y funcionales).

El encontrar similitudes y diferencias entre los algoritmos de búsqueda por heurística planteados en el presente documento y en el tomado por referencia, refuerza el hecho de poder elaborar la función heurística de acuerdo al contexto en el que se vaya a aplicar, ya sea una fábrica de software, universidad, entre otros.



## **PROGRAMACIÓN LINEAL APLICADA A ASIGNACIÓN DE RECURSOS**

Además de los métodos basados en inteligencia artificial, como los métodos de búsqueda por heurística, hoy en día existen otras alternativas de solución para la problemática de asignación de recursos humanos. Entre estas soluciones destaca la formulación de modelos basados en investigación de operaciones (ver glosario).

Un modelo es una representación de un sistema y la forma en que este opera. Este tiene como objetivo analizar el comportamiento del sistema o incluso predecir su comportamiento futuro<sup>9</sup>. Los modelos no pretenden ser tan complejos como el sistema en sí, por lo que se deben hacer algunas suposiciones y establecer restricciones para representar la parte más significativa del mismo. Lo último mencionado es muy importante, ya que claramente no habría ventaja alguna de utilizar un modelo que no simplifique la situación real.

Todo modelo posee 3 componentes<sup>9</sup>:

- Variables de decisión y parámetros: Las variables de decisión son incógnitas que deben ser determinadas a partir de la solución del modelo, mientras que los parámetros representan los valores conocidos del sistema o que bien se pueden controlar.
- Restricciones: Las restricciones son relaciones que existen entre las variables de decisión y magnitudes. Las restricciones permiten darle sentido a la solución del problema y acotan las variables a valores factibles o válidos. Un ejemplo de restricción sería la que existe sobre una variable de decisión que representa el número de desarrolladores de una fábrica de software, debido a que es imposible que el valor de dicha variable sea negativo.
- Función objetivo: La función objetivo es una relación matemática entre las variables de decisión, parámetros y una magnitud que es definida de acuerdo al producto o resultado esperado del modelo. Es por ello que la función objetivo puede buscar maximizar o minimizar el valor de una ecuación. Por ejemplo, si el modelo tuviera como objetivo reducir los costos de operación, la función objetivo debe ser de minimización y expresar la relación entre el costo y las variables de decisión.



Asimismo, para este ejemplo, la solución óptima se obtendría cuando el valor del costo sea el mínimo para el conjunto de valores factibles de las variables.

Si se utiliza el concepto de modelo para la resolución del problema de asignación de recursos humanos en una fábrica de software, se tendría que la definición de la función objetivo apuntaría a responder la pregunta ¿qué desarrollador es el más idóneo para determinado proyecto?

Una de las técnicas de investigación de operaciones más utilizadas a la fecha es la programación lineal. La programación lineal es una técnica de modelado matemático, diseñada para optimizar el uso de recursos limitados<sup>9</sup>. Es utilizada en distintos rubros como el ejército, la agricultura, la industria, los transportes, entre otros. Asimismo, esta técnica debe ser aplicada sobre un modelo anteriormente definido.

La principal diferencia entre la programación lineal y la programación entera radica en que la primera solo considera variables mayores o iguales a cero. Es por ello que siempre se consideran restricciones del tipo mayor o igual a cero en sus modelos. Este hecho permite deducir el por qué no es posible utilizar programación entera para dar solución a problemas de asignación de recursos, ya que, por ejemplo, no es posible declarar una cantidad negativa de trabajadores.

Así como los métodos de búsqueda por heurística, la programación lineal cuenta con la característica de reducir drásticamente el número de posibles soluciones óptimas que deben ser revisadas. Es por ello que ambas técnicas son perfectamente aplicables sobre problemas de asignación de recursos.

Por citar un ejemplo, si se tuvieran que asignar 70 personas a 70 puestos de trabajo, la potencia de computación necesaria para evaluar todas las combinaciones posibles (factorial de 70) sería inmensa. Esto no ocurriría si se utilizara programación lineal.

A continuación, se mostrará la aplicación de la técnica de programación lineal sobre un problema de asignación de recursos utilizando los conceptos definidos.



Una determinada fábrica de software desea realizar mantenimiento preventivo a sus 3 servidores principales, identificados como A, B y C. El tiempo que demanda realizar el mantenimiento de cada servidor es de 1 día. Teniendo en cuenta que la compañía cuenta con 3 técnicos de servicios de mantenimiento, debe de asignarse un técnico a cada servidor para poder cumplir con la realización del mantenimiento preventivo. Además, según el salario de cada técnico de servicios de mantenimiento, el costo de la tarea varía para cada servidor en particular. Es por ello que debe de asignarse el técnico correcto a la máquina indicada con el objetivo de minimizar el costo total del mantenimiento de los 3 servidores. Los costos asociados se pueden observar en la siguiente tabla:

	<b>Servidor 1</b>	<b>Servidor 2</b>	<b>Servidor 3</b>
<b>Técnico 1</b>	20	18	10
<b>Técnico 2</b>	18	16	6
<b>Técnico 3</b>	12	8	14

Figura 4: Tabla de costos por técnico y servidor. Fuente propia

Las variables de decisión de este tipo de problemas tienen la estructura de una matriz (ver glosario)  $X_{i,j}$  donde  $i$  puede tener los valores según el técnico de mantenimiento (1, 2 o 3) y  $j$  los valores de los servidores (1, 2 o 3). Estas variables se caracterizan por ser binarias (ver glosario), es decir que solo pueden tener valor 0 o 1, donde 1 significa la asignación de un técnico de mantenimiento a un servidor en particular.

En lo que respecta a las restricciones, se tienen las siguientes:

- Dado que un servidor no puede ser asignado a más de un técnico, esta característica debe de restringirse mediante las siguientes ecuaciones:

$$X_{1,1} + X_{1,2} + X_{1,3} = 1$$

$$X_{2,1} + X_{2,2} + X_{2,3} = 1$$

$$X_{3,1} + X_{3,2} + X_{3,3} = 1$$





- Dado el hecho de que cada servidor solo requiere de un técnico de mantenimiento, se establecen las siguientes ecuaciones:

$$X_{1,1} + X_{2,1} + X_{3,1} = 1$$

$$X_{1,2} + X_{2,2} + X_{3,2} = 1$$

$$X_{1,3} + X_{2,3} + X_{3,3} = 1$$

- Además, debido a la naturaleza del problema, se debe especificar que estas variables corresponden al conjunto de los enteros (no se puede hablar de 0.5 de técnico) y que deben ser mayores que cero (no es posible hablar de -3 servidores). De no cumplirse esta característica se estaría hablando de programación entera en lugar de programación lineal.

$$X_{i,j} \geq 0$$

$$X_{i,j} \in \{Z\}$$

La función objetivo de acuerdo a las variables de decisión y restricciones definidas sería la siguiente:

$$Z_{MIN} = 20X_{1,1} + 18X_{1,2} + 10X_{1,3} + 18X_{2,1} + 16X_{2,2} + 6X_{2,3} + 12X_{3,1} + 8X_{3,2} + 14X_{3,3}$$

Vale precisar que para formular la función objetivo es necesario multiplicar cada valor de la matriz  $X_{i,j}$  por el valor de la celda correspondiente. De esta manera se tienen 9 valores, obtenidos a partir de 9 multiplicaciones, los cuales se suman. Asimismo,  $Z_{MIN}$  es la representación que se utiliza para indicar que el objetivo de la función es minimizar los costos de atención.

Para la obtención de los resultados de manera detallada, se puede utilizar software de investigación de operaciones como LINGO o WINQSB (ver glosario). Donde simplemente se



tendrían que ingresar los valores de la tabla de costos por técnico y servidor, las restricciones y la función objetivo anteriormente definidas.

Finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos se tiene que el menor costo posible sería de 34, donde el técnico 1 sería asignado al mantenimiento del servidor 1, el técnico 2 realizaría el mantenimiento del servidor 3 y técnico 3 haría mantenimiento al servidor 2.



## CONCLUSIONES

- El uso de métodos de búsqueda por heurística o modelos de programación lineal evidencian una gran optimización sobre el proceso de asignación de recursos humanos, por lo que es necesario que las fábricas de software comiencen a utilizar este tipo de alternativas en lugar de continuar realizando el proceso de forma manual.
- A pesar de que la aplicación de los algoritmos de búsqueda por heurística no sea demasiado común para resolver problemas de asignación de recursos, el presente trabajo demuestra que utilizar este tipo de algoritmos es completamente factible, y que la lógica para elaborar la función heurística puede ser modificada de acuerdo a las necesidades y particularidades de cada empresa.



## BIBLIOGRAFÍA

1. FERNÁNDEZ LIRIA, Carlos. (2010) Fábricas De Software: Experiencias, Tecnologías Y Organización, 2a. ed. España: RA-MA Editorial.
2. Heuristic Search. (2011). Estados Unidos: Elsevier Science, pp. 47-89. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upc-ebooks/reader.action?docID=713615>.
3. Heurística aplicada a la asignación de recursos humanos en una Universidad. (2011). Argentina: Facultad de Ingeniería de Universidad de Palermo, pp. 180-184. [http://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2012/cyt/numero11/CyT11\\_12.pdf](http://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2012/cyt/numero11/CyT11_12.pdf)
4. Linear Programming and Network Flows. (2013). 4ta ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Incorporated, pp.7-18. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upc-ebooks/reader.action?docID=819139>.
5. PONCE CRUZ, Pedro. (2011) Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería. España: S.A. MARCOMBO.
6. Practical Methods of Optimization. (2013). 2da ed. Estados Unidos: Wiley, pp. 150-195. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upc-ebooks/reader.action?docID=1212544>.
7. PRESSMAN, Roger. (2010) Ingeniería del Software: Un enfoque práctico, 7a. ed. Estados Unidos: McGraw-Hill.
8. Project Management Institute. (2012) A Guide To The Project Management Body Of Knowledge (PMBOK Guides), 5a. ed. Estados Unidos: Project Management Institute.
9. SULTAN, Alan. (2011) Linear Programming: An Introduction with Applications, 2a. ed. Estados Unidos: Create Space.



## GLOSARIO

- **Algoritmo:** Conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permite hacer un cálculo y hallar la solución de un tipo de problemas.
- **Binario:** Sistema de numeración en el que los números solo se representan utilizando dos cifras: cero y uno.
- **Fábrica de software:** Empresa dedicada al desarrollo de software para sus clientes de acuerdo a los requisitos específicos que aquel le solicita.
- **Inteligencia artificial:** Programa de computación diseñado para realizar determinadas operaciones que se consideran propias de la inteligencia humana.
- **Investigación de operaciones:** Disciplina que consiste en el uso de modelos matemáticos, estadística y algoritmos con objeto de realizar un proceso de toma de decisiones.
- **LINGO:** Programa informático que permite la ejecución de modelos de investigación de operaciones.
- **Matriz:** Arreglo bidimensional de números.
- **Método de búsqueda por heurística:** Método de búsqueda que dispone de alguna información sobre la proximidad de cada estado a un estado objetivo, lo que permite explorar en primer lugar los caminos más prometedores.
- **Ofimática:** Aplicación de la informática a las técnicas y trabajos de oficina.
- **Pseudocódigo:** Descripción de alto nivel compacta e informal del principio operativo de un programa informático u otro algoritmo.
- **Tercerización:** Práctica llevada a cabo por una empresa cuando contrata a otra firma para que preste un servicio que, en un principio, debería ser brindado por ella misma. Este proceso suele realizarse con el objetivo de reducir los costos.
- **Variable:** Valor que está sujeto a cambios frecuentes o probables.
- **WINQSB:** Programa informático que permite la ejecución de modelos de investigación de operaciones.



## **SIGLARIO**

- **PMBOK:** Project Management Body of Knowledge.
- **PMI:** Project Management Institute.



**ANEXOS**

No aplica.