

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ELABORACIÓN DE CURVAS “S” PATRÓN PARA LA PLANEACIÓN DE  
CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE MEDIANTE EL  
METODO DE GOMPERTZ EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA-ECUADOR

AUTOR:

PAULA ANDREA BERMEO SALAZAR

2023

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero agradecer a mis padres, Andrés y Janeth que me con mucho esfuerzo han dado todas las herramientas para superarme. Han sabido motivarme y con paciencia enseñarme el camino. Gracias a ellos estoy aquí.*

*Agradezco también al Ing. Juan Merizalde, por su apoyo y ayuda en este proceso y a cada uno de los profesores que con toda la dedicación me han ayudado en mi desarrollo no solo profesional sino también personal.*

*Por último, quiero agradecer a las personas maravillosas que me ha dejado la vida universitaria, mis amigos. Que me han acompañado cada pasito, en las risas y los momentos más difíciles.*

**DEDICATORIA**

*A mi abuelito Carlos, que me hubiera encantado que este aquí en este paso tan importante.*

*A mis padres por todo su amor y por enseñarme a trabajar duro por mis sueños.*

*Y a mi hermana Dani, por ser mi cómplice y compañera.*

*A todos los quiero con todo el corazón.*

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Estado del Arte.....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Planteamiento del Problema.....	4
1.4 Objetivos .....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5 Alcance.....	5
1.6 Metodología .....	6
2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO.....	7
2.1 Redes de Agua Potable.....	7
2.2 Método del Valor Ganado .....	7
2.3 Curvas “S”.....	11
2.3.1 Modelo de Gompertz .....	13
2.3.2 Modelo Logístico .....	14
3. CURVA PATRÓN MEDIANTE EL MODELO DE GOMPERTZ .....	16
3.1 Método de mínimos cuadrados para ajuste de datos .....	16
3.2 Curva Patrón.....	17
3.3 Comprobación del Modelo.....	20
3.3.1 Proyectos del Periodo 2018-2022 .....	20
3.3.2 Comprobación de la curva patrón con los proyectos de 2018-2022.....	24
4. COMPARACIÓN CON EL MODELO LOGÍSTICO .....	25
4.1 Análisis de Resultados del Modelo Logístico .....	25
4.2 Comparación entre el Modelo Logístico y Modelo de Gompertz.....	26

5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	33
5.1	Presentación de resultados: Aplicación del modelo a los proyectos .....	33
5.2	Análisis de resultados.....	57
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	59
6.1	Conclusiones .....	59
6.2	Recomendaciones.....	59
	BIBLIOGRAFÍA.....	61
	ANEXOS.....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Ejemplo de Estandarización de Datos para el Proyecto 1: Mindo</i> .....	17
<b>Tabla 2</b> <i>Datos del Proyecto Nuevo 1: Cotogchoa</i> .....	21
<b>Tabla 3</b> <i>Datos del Proyecto Nuevo 2: Quitumbe y Eloy Alfaro</i> .....	21
<b>Tabla 4</b> <i>Datos del Proyecto Nuevo 3: Parroquias</i> .....	22
<b>Tabla 5</b> <i>Datos del Proyecto Nuevo 4: Calle la Concordia</i> .....	23
<b>Tabla 6</b> <i>Datos del Nuevo Proyecto 5: Sector El Taxo</i> .....	23
<b>Tabla 7</b> <i>Comparación del Coeficiente de Determinación y Correlación entre el Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 3: Guamaní</i> .....	27
<b>Tabla 8</b> <i>Comparación entre Proyecciones del Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 3: Guamaní</i> .....	28
<b>Tabla 9</b> <i>Comparación del Coeficiente de Determinación y Correlación entre el Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 6: Pedro Vicente Maldonado</i> .....	29
<b>Tabla 10</b> <i>Comparación entre Proyecciones del Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 6: Pedro Vicente Maldonado</i> .....	30
<b>Tabla 11</b> <i>Comparación del Coeficiente de Determinación y Correlación entre el Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 8: Calderón</i> .....	31
<b>Tabla 12</b> <i>Comparación entre Proyecciones del Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 8: Calderón</i> .....	32
<b>Tabla 13</b> <i>Resultados del Proyecto 1: Mindo</i> .....	34
<b>Tabla 14</b> <i>Resultados del Proyecto 2: Gualea</i> .....	36
<b>Tabla 15</b> <i>Resultados del Proyecto 3: Guamaní</i> .....	37
<b>Tabla 16</b> <i>Resultados del Proyecto 4: Alpaloma</i> .....	40
<b>Tabla 17</b> <i>Resultados del Proyecto 5: San Antonio</i> .....	42
<b>Tabla 18</b> <i>Resultados del Proyecto 6: Pedro Vicente Maldonado</i> .....	44
<b>Tabla 19</b> <i>Resultados del Proyecto 7: Patagua</i> .....	46
<b>Tabla 20</b> <i>Resultados del Proyecto 8: San Juan de Calderón Alto</i> .....	48
<b>Tabla 21</b> <i>Resultados del Proyecto 9: San José de Minas</i> .....	50
<b>Tabla 22</b> <i>Resultados del Proyecto 10: Guangopolo</i> .....	52
<b>Tabla 23</b> <i>Resultados del Proyecto 11: Cordillera del Sur</i> .....	54
<b>Tabla 24</b> <i>Resultados del Proyecto 12: Altos de Pintag</i> .....	56

<b>Tabla 25</b> <i>Coeficiente de Determinación para los Proyectos Analizados</i> .....	57
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Curva "S" Patrón para Planeación de Construcción de Agua Potable en la Provincia de Pichincha.....</i>	12
<b>Figura 2</b> <i>Ingreso de Datos en MATLAB para hallar la ecuación del Modelo de Gompertz16</i>	
<b>Figura 3</b> <i>Curva "S" Patrón para Proyectos de Agua Potable en la Provincia de Pichincha (sin Ajuste) .....</i>	18
<b>Figura 4</b> <i>Curva "S" Patrón para Proyectos de Agua Potable en la Provincia de Pichincha Ajustada .....</i>	20
<b>Figura 5</b> <i>Curva "S" Incluyendo los Proyectos Hallados en el período 2018-2022 .....</i>	24
<b>Figura 6</b> <i>Gráfica del Modelo Logístico en Comparación al Modelo de Gompertz para Proyectos de Agua Potable en la Provincia de Pichincha .....</i>	25
<b>Figura 7</b> <i>Comparación del Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 3: Guamaní .27</i>	
<b>Figura 8</b> <i>Comparación del Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 6: Pedro Vicente Maldonado .....</i>	29
<b>Figura 9</b> <i>Comparación del Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 8: Calderón .31</i>	
<b>Figura 10</b> <i>Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 1: Mindo .....</i>	33
<b>Figura 11</b> <i>Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 2: Red de Agua Potable Gualea ...</i>	35
<b>Figura 12</b> <i>Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 3: San Isidro de Guamaní.....</i>	37
<b>Figura 13</b> <i>Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 4: Alpaloma .....</i>	39
<b>Figura 14</b> <i>Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 5: San Antonio de Pichincha .....</i>	41
<b>Figura 15</b> <i>Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 6: Malchingui-Pedro Vicente Maldonado .....</i>	43
<b>Figura 16</b> <i>Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 7: Patagua .....</i>	45
<b>Figura 17</b> <i>Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 8: San Juan de Calderón Alto.....</i>	47
<b>Figura 18</b> <i>Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 9: San José de Minas .....</i>	49
<b>Figura 19</b> <i>Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 10: Guangopolo .....</i>	51
<b>Figura 20</b> <i>Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 11: Cordillera del Sur.....</i>	53
<b>Figura 21</b> <i>Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 12: Altos de Pintag .....</i>	55

## 1. INTRODUCCIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas (2023), “una de cada tres personas no tiene acceso a agua potable salubre, dos de cada cinco personas no disponen de una instalación básica destinada a lavarse las manos con agua y jabón”. Esto evidencia las carencias a nivel global de este servicio tan importante para la supervivencia y bienestar del ser humano. Sin embargo, para lograr abastecer a la población, se requiere el desarrollo de proyectos que culminen de manera satisfactoria. Por lo tanto, la base de todo radica en una planeación adecuada.

En el contexto de Ecuador, Granja (2019) explica que, en la provincia de Pichincha, 4 de cada 10 proyectos no se logran cumplir en el plazo planeado. Como se observa, las estimaciones de la programación de obra pueden ocasionar inconvenientes en la finalización dentro del plazo contractual y el presupuesto de los proyectos. Se debe tener presente que por no cumplir con los plazos establecidos se pueden imponer sanciones al constructor. En el sector público las multas se aplican por cada día de retraso, y dependerá de la naturaleza del contrato, pero el mínimo es de uno por mil del valor del mismo (Servicio Nacional de Contratación Pública, 2017).

Según Mattos (2014), algunas de las causas más comunes de los retrasos en proyectos son expectativas poco realistas, mala planificación, mala gestión del proyecto, entre otros, lo cual conlleva a que el tercer factor más importante como origen de retrasos sea la estimación de duraciones y plazos. Por ello, en el presente trabajo se realizará la elaboración de un patrón de curvas “S” para planeación y programación de obra que permitirá ajustar el cronograma de proyectos de agua potable con la finalidad de optimizarlo y brindar una herramienta a los ingenieros, orientado hacia los proyectos realizados en Pichincha, porque serán los datos de entrada para el modelo que permite hallar las estimaciones del cronograma.

Usualmente se realizan las estimaciones por medio del Método del Valor Ganado, que utiliza ecuaciones lineales. Sin embargo, para mejorar sus limitaciones se usará el modelo de Gompertz, el cual, mediante un modelo de regresión no lineal, presenta un comportamiento en el que inicia de manera lenta, luego aumenta rápidamente, para después decrecer de forma lenta nuevamente, lo cual se asemeja a lo que sucede en los proyectos pues las actividades dependen unas de otras.

### **1.1 Estado del Arte**

En el ámbito internacional se han realizado varias investigaciones relacionadas al tema, Kucharavy y De Guio (2011) indican que varios estudios alrededor del mundo han aplicado las curvas “S” en diferentes áreas como, por ejemplo: rendimiento tecnológico, estimación de poblaciones, análisis de mercado, estudios económicos, ecología, entre otros propósitos.

Con un enfoque hacia proyectos se ha hallado varios artículos científicos, se puede citar a Cioffi (2005) para la revista Science Direct donde compara los resultados de varios proyectos con el modelo logístico de curva “S” y se halló que la variación fue de alrededor del 6% por lo cual el modelo serviría como una guía para la gestión del proyecto; se aclara también que, si se diferencian los proyectos por tipo, se podrá hallar ajustes más exactos que representen de mejor manera el comportamiento cada proyecto.

En el artículo de Narbaev y De Marco (2013), se utilizan nueve proyectos de tipo civil, industrial, infraestructura y residencial; seleccionados en los que se indica que el modelo de Gompertz permite superar las limitaciones debido a la linealidad de otros métodos que se presentan para la programación del proyecto debido a las suposiciones iniciales, además, demostró ser aplicable para proyectos de pequeño y mediano tamaño de manera satisfactoria.

En 2018, Nannini et al. encontraron a través del uso de varios conjuntos de datos y el modelo de Gompertz, que usando dos puntos de la data del valor ganado (EV) se puede predecir la duración de un proyecto, lo cual podría brindar guía en la estimación de los costos en diferentes proyectos e industrias donde se puede usar para el monitoreo y control (Nannini et al., 2018).

En el Ecuador se ha investigado el uso de curvas “S” para planificación de proyectos, Granja (2019) desarrolló la curva “S” patrón para proyectos de agua potable en Pichincha mediante el modelo Logístico, donde los coeficientes de determinación y correlación indican que la tendencia de la curva es aceptable.

Argüello (2020) aplicó las curvas “S” para la planeación de construcción de viviendas en Tungurahua, Imbabura, Pichincha y Cotopaxi donde se usó veinte y dos proyectos logrando obtener un coeficiente de determinación satisfactorio por lo que el modelo se puede utilizar para la estimación del cronograma. López et al. (2019) explica el desarrollo de un modelo matemático Logístico para proyectos de alcantarillado para veinte y siete proyectos en la provincia de Pichincha donde se logró estandarizar el modelo para futuros proyectos.

Como se puede observar, en el Ecuador se ha realizado varios modelos usando curvas “S” aplicando el modelo Logístico, en este trabajo se busca contrastar estas investigaciones proponiendo el modelo matemático de Gompertz.

## **1.2 Justificación**

En el mundo, “tres de cada diez personas carecen de acceso a servicios de agua potable seguros y seis de cada diez carecen de acceso a instalaciones de saneamiento gestionadas de forma segura” (ONU, 2023).

El agua potable es un recurso de vital importancia para la vida humana, es esencial que cada familia que conforma nuestro país cuente con este recurso para garantizar su salud y una vida

digna. Además, el objetivo número seis de los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para 2030 indica que se busca “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” (ONU, 2023).

En un proyecto tener una correcta estimación de costos y cronograma es decisivo para su éxito. Por esta razón la curva “S” patrón, obtenida por medio del modelo de Gompertz es una valiosa herramienta para apoyar al ingeniero civil en la programación de obra, de manera que se optimiza el cronograma dando menor lugar a errores e inconsistencias en el proyecto. Además, la investigación beneficiará a cualquier proyecto de agua potable en la provincia de Pichincha dado que abarca los proyectos que se han realizado en los últimos años. Se considerará además los trabajos anteriores en los que mediante el modelo Logístico se obtuvo las curvas “S”, las cuales serán comparadas con el modelo de Gompertz. Cabe recalcar que contar con agua potable es una necesidad básica para todos los seres humanos, por lo tanto, un proyecto bien ejecutado de este tipo es de suma importancia para la sociedad.

### **1.3 Planteamiento del Problema**

El porcentaje de cobertura en el servicio de agua potable en relación con su área de cobertura en promedio en el Ecuador fue de 79.28% en el año 2020, es importante considerar que dentro de este porcentaje se encuentra todos los tipos de cobertura, incluyendo aquella considerada deficiente; en Quito, la cobertura del servicio es del 98.58% mientras que en cantones pertenecientes a la provincia de Pichincha como Pedro Moncayo o San Miguel de los Bancos no llega al 60% (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2020). Con estos datos se puede evidenciar que existe proyectos de agua potable en Pichincha que pueden requerirán mantenimiento o ampliaciones además de la construcción de plantas potabilizadoras de agua para abastecer a la población que aún no tiene acceso a este servicio tan básico o este no es de calidad.

Entonces se puede concluir que en la provincia de Pichincha se requerirá planeación de obras de agua potable. Para ello, se propone la realización de la curva “S” patrón aplicando el modelo de Gompertz, en la que se podrá hallar el costo en función del tiempo con el que se obtendrá una mejor estimación de cronograma, el cual es clave para el éxito de cualquier proyecto de ingeniería.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo General***

- Elaborar el patrón de curvas “S” para la planeación de la construcción de sistemas de agua potable mediante el modelo de Gompertz en la provincia de Pichincha.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

- Analizar los avances de obra en proyectos de agua potable finalizados en la provincia de Pichincha.
- Comparar las curvas “S” obtenidas mediante el modelo de Gompertz con el método Logístico.
- Comprobar el modelo con proyectos en el periodo 2018-2022 de agua potable en la provincia de Pichincha.

## **1.5 Alcance**

Los datos analizados provienen de proyectos de agua potable finalizados en la provincia de Pichincha. Para estandarizar la curva se utilizó los proyectos realizados en el rango de 2008-2018 y la comprobación del modelo se realizaron con los proyectos de 2018-2022 obtenidos en la página del Sistema Oficial de Contratación Pública.

## **1.6 Metodología**

En el presente trabajo se revisaron los proyectos de agua potable en la provincia de Pichincha durante el período 2008 hasta 2018, los cuales fueron obtenidos de la tesis de grado titulada "Elaboración de Curvas 'S' Patrón para la Planeación de la Construcción de Agua Potable (Curvas de Inversión) en la Provincia de Pichincha" por Granja (2019), donde se emplea el modelo Logístico. Con estos datos, mediante el método de mínimos cuadrados, se obtuvo la curva patrón aplicando el modelo de Gompertz. Para lograr mejores resultados, se utilizó la herramienta de programación MATLAB. Además, se recopilaron proyectos de los últimos años (2018-2022) a través de la página del Sistema Oficial de Contratación Pública para comprobar la adaptabilidad del modelo a la tendencia de los proyectos. Por último, se llevó a cabo una comparación entre los modelos Logístico y Gompertz, con el fin de analizar cuál de ellos proporcionaría una mejor estimación para la planificación del cronograma en proyectos de agua potable.

## 2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

### 2.1 Redes de Agua Potable

La red de distribución, según Corcho y Duque (2005), es un conjunto de elementos encargados de movilizar el agua bajo presión hacia donde sea requerida. Está compuesta por tuberías de diferentes tamaños, elementos específicos y diversos accesorios, dispuestos estratégicamente para asegurar un abastecimiento adecuado (Tapote, 2017). Es importante tener en cuenta que, en Ecuador, los municipios lograron facturar en promedio mensual 54,3 millones de metros cúbicos, lo cual representa el 43,4% del volumen total de agua distribuida en el año 2021 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2022). Esto evidencia que no se ha facturado ni siquiera el 50% del agua potabilizada, lo que indica la necesidad de prestar atención a las redes de distribución por parte de los responsables correspondientes.

### 2.2 Método del Valor Ganado

Para comprender el método del valor ganado se establecerán algunas definiciones:

- **Proyecto**

“Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” (Project Management Institute, 2017, p. 4).

- **Línea Base del Cronograma**

La línea base del cronograma según el Project Management Institute (2017), es la versión aprobada de un modelo de programación, el cual solo puede ser modificado mediante un procedimiento formal; este consiste con fechas de inicio y final, las cuales serán monitoreadas en caso de modificaciones.

- **Estructura de desglose de trabajo (EDT)**

Un proyecto requiere como uno de los pasos preliminares para su planificación, identificar sus actividades de manera que se descomponen el proyecto en partes más pequeñas; dichas actividades son las que conformarán el cronograma, e identificarlas debe ser un proceso que incluya varios profesionales dado que no es una tarea simple y depende enteramente de la experiencia y buen juicio del proyectista, además, se debe respetar su alcance, estableciendo límites claros, porque las actividades deben estar bien definidas para luego estimar su duración (Mattos y Valderrama, 2014).

- **Estimación duraciones**

Previo a la realización del cronograma se deben estimar las duraciones, lo cual según el Project Management Institute (2017), consiste en realizar una estimación del número de periodos de trabajo que se requiere para la conclusión de cada actividad con sus respectivos recursos. En Mattos y Valderrama (2014) se indica que existen duraciones fijas y variables, las cuales dependen de si la actividad varía al aumentar o disminuir los recursos, si es así se trata de una tarea con duración fija.

- **Secuenciar las actividades**

Las actividades en el proyecto deben ser identificadas y se debe determinar las relaciones entre sí y su secuencia lógica, todas las actividades deben tener una actividad previa llamada predecesora y al menos una posterior llamada sucesora respondiendo a un orden; la primera actividad será la única que no tenga predecesora mientras que la última no tendrá sucesora (Project Management Institute, 2017).

- **Cronograma**

El cronograma del proyecto indica una esquematización del orden de las actividades a desarrollarse que consta de fechas planeadas, duraciones estimadas, hitos y recursos y

puede estar dado a manera de diagrama de barras, diagrama de hitos o diagramas de red (Project Management Institute, 2017). Alvarado (s.f.) explica que el cronograma permite determinar cómo será el ciclo de vida del proyecto, para lo cual se usa la estructura de desglose de trabajo, para asignar las duraciones y hallar la ruta crítica. Según el Project Management Institute (2017), el cronograma puede presentarse en las siguientes formas:

- **Diagrama de Barras o Diagrama Gantt**

Este tipo de diagrama coloca la información donde las actividades se numeran en el eje vertical y las fechas en el eje horizontal, mientras que la duración de cada actividad se representa como una barra horizontal involucrando el espacio de su fecha de inicio y fin. Las actividades dependerán de lo establecido en la Estructura de Desglose de Trabajo.

- **Diagrama de Hitos**

En estos diagramas a diferencia de los pasados, se ubica únicamente el inicio y finalización de los entregables respectivos.

- **Diagrama de Red**

Los diagramas de red consisten en una representación con o sin ayuda de una escala temporal, los cuales cuentan con la fecha de las actividades haciendo uso de una red lógica, lo que quiere decir que muestra las relaciones de las actividades entre sí.

• **Recursos y Costos**

Ambriz (2008) indica que cada actividad debe tener sus propios recursos asignados (distribución del presupuesto), los cuales cuentan con sus tarifas correspondientes.

• **Método de la Ruta Crítica**

El Project Management Institute (2017) explica que “el método de la ruta crítica se utiliza para estimar la mínima duración del proyecto y determinar el nivel de flexibilidad” (p. 210).

Mattos y Valderrama (2014) indica que, el método del valor ganado es un sistema desarrollado para la evaluación del desempeño de un proyecto, para ello, es importante conocer los tres siguientes conceptos básicos:

- **Valor Planificado (PV)**

El valor planificado o “planned value” (PV) es el valor que debió haberse gastado en un período de tiempo determinado según lo planeado,

- **Valor Ganado (EV)**

El valor ganado o “earned value” representa cuánto debería haber costado el avance que se ha realizado según el presupuesto.

Matos y Valderrama (2014) señalan también que existen indicadores que comparan los valores mencionados, los que se usarán en este trabajo serán:

- **Variación del cronograma (SV)**

Según Alvarado (s.f.), este es un indicador que, a diferencia del anterior, permite conocer si el proyecto se encuentra adelantado o atrasado según el cronograma inicial; si este valor da como resultado un número menor que cero, entonces el proyecto tiene un retraso.

$$SV = EV - PV \quad (1)$$

- **Índice del desempeño del cronograma (SPI):**

“Es una medida de eficiencia en función del cronograma del proyecto” (Alvarado, s.f., p.5). El Project Management Institute (2017) indica que, si el SPI es menor que uno, entonces el trabajo realizado está debajo de lo previsto, mientras que, cuando el SPI es mayor que uno, entonces el trabajo que se ha realizado está sobre lo previsto.

$$SPI = EV/PV \quad (2)$$

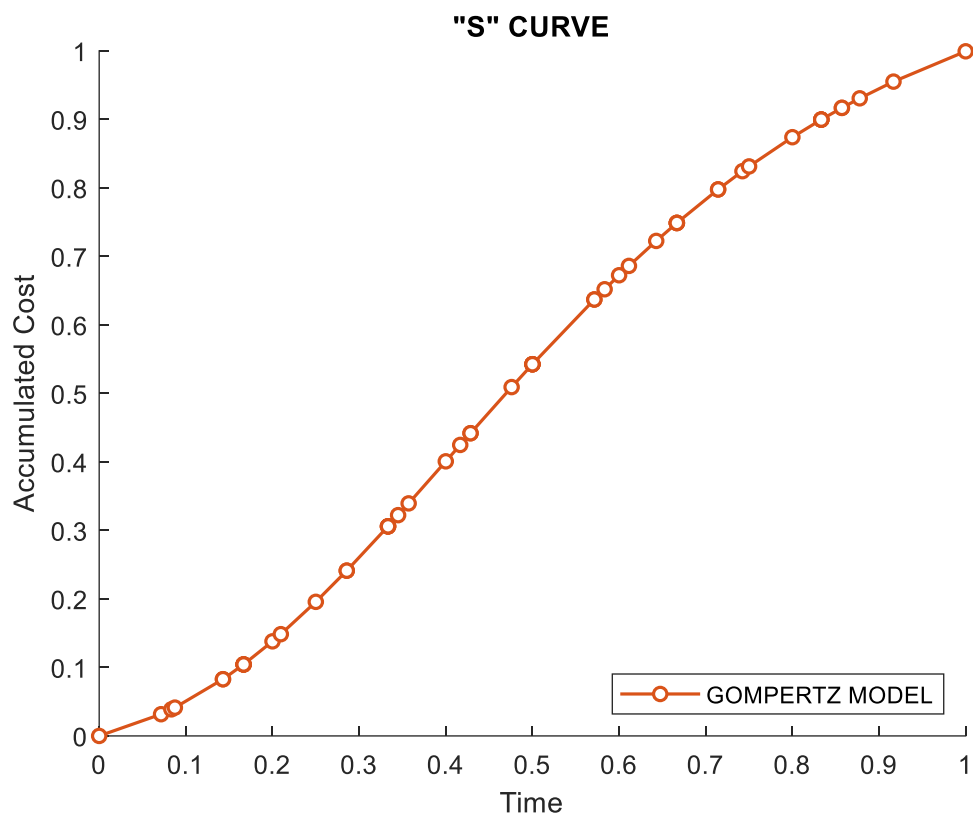
### 2.3 Curvas “S”

Según Mattos y Valderrama (2014), la curva “S” es aquella que representa el valor acumulado del gasto en función del tiempo, se caracteriza por un comportamiento en el que el crecimiento es lento-rápido-lento; es de importancia considerar que entre proyectos la curva cambiará dependiendo de sus características propias como por ejemplo la secuencia de actividades, cantidades, costos y la duración, demás, la curva se ve deformada en proyectos pequeños, a diferencia de proyectos grandes donde la forma típica será mucho más clara y definida. La curva “S” según Alvarado (s.f.) permite realizar una comparación entre el avance real y el avance que se ha planificado.

Un patrón según la Real Academia Española (2023) es un modelo que sirve como una muestra para hallar algo igual. Por lo tanto, al buscar la curva patrón se requiere hallar con los datos obtenidos una curva base que se pueda utilizar para optimizar el costo y cronograma en las obras de agua potable de Pichincha.

**Figura 1**

*Curva "S" Patrón para Planeación de Construcción de Agua Potable en la Provincia de Pichincha*



- **Coefficiente de Determinación ( $R^2$ )**

Carrollo (2012) explica que el coeficiente de determinación es aquel que permite obtener variación de los datos respecto a su media aritmética, toma valores de cero a uno, siendo uno cuando existe un ajuste lineal perfecto y cero cuando la curva no es representativa para los datos, y tiene la siguiente ecuación:

$$R^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

$\hat{y}_i$ : Representa los valores estimados

$y_i$ : Representa los valores reales observados

$\bar{y}$ : Es la media de la muestra

Se puede decir que el coeficiente de determinación es la proporción en la que Y varía explicada por X.

- **Correlación R**

Es la raíz cuadrada del coeficiente de determinación  $R^2$ , sirve para cuantificar la intensidad de la relación lineal entre dos variables, cuando ambas variables aumentan, R será positivo, cuando una aumenta y la otra disminuye, entonces la correlación es negativa o inversa; cuando R toma el valor de cero quiere decir que no existe correlación, si toma el valor de uno, significa que la correlación es positiva perfecta, a diferencia de si el valor es de menos uno, en este caso se trata de una correlación negativa perfecta (Ramírez, 2017).

### ***2.3.1 Modelo de Gompertz***

El modelo de Gompertz es un modelo de tipo sigmoideal, en el que, a diferencia del logístico, la velocidad de difusión no es simétrica, lo que quiere decir que su punto de inflexión no está ubicado en el punto medio (Arrollo, 2020). En este modelo, “la tasa de crecimiento decrece exponencialmente con el tiempo después de alcanzar su punto de inflexión” (Ramírez & Ramírez, 2021, p.3). Esta función fue usada en sus inicios para estimar poblaciones, pero hoy en día se utiliza para diferentes aspectos como crecimiento de poblaciones, crecimiento de células, cifras de contagios de enfermedades entre otros; en esta investigación se busca hallar un modelo matemático usando la función de Gompertz donde se hallará la curva considerando el costo acumulado en función del tiempo.

La ecuación del modelo de Gompertz se obtiene resolviendo:

$$\frac{dP}{dt} = r P \ln \left[ \frac{N}{P} \right] \quad (4)$$

Donde:

P: variable dependiente del tiempo

r: tasa de crecimiento

N: valor máximo o asíntota

t: tiempo

Entonces se obtiene la siguiente ecuación:

$$P(t) = N e^{-b e^{-rt}} \quad (5)$$

Donde:  $b = e^C$

C: Es la constante resultante de la integración

### **2.3.2 Modelo Logístico**

El modelo logístico es una curva no lineal simétrica y ha sido utilizado para diversos fines como procesos biológicos, demográficos, estimación de poblacionales, entre otros (Aguilar et al., 2012). Si se compara con el modelo de Gompertz se observa que el punto de inflexión está en  $N/2$  siendo N es el valor máximo o asíntota, explica Arrollo (2020).

El modelo logístico se expresa como la resolución de la siguiente ecuación:

$$\frac{dP}{dt} = rp \left( 1 - \frac{P}{K} \right) \quad (6)$$

Donde:

P: variable dependiente del tiempo

r: tasa de crecimiento

K: valor máximo o asíntota

t: tiempo

Resolviendo la integral se obtiene la ecuación:

$$P(t) = \frac{Ae^{rt}}{1 + Ae^{rt}} \quad (7)$$

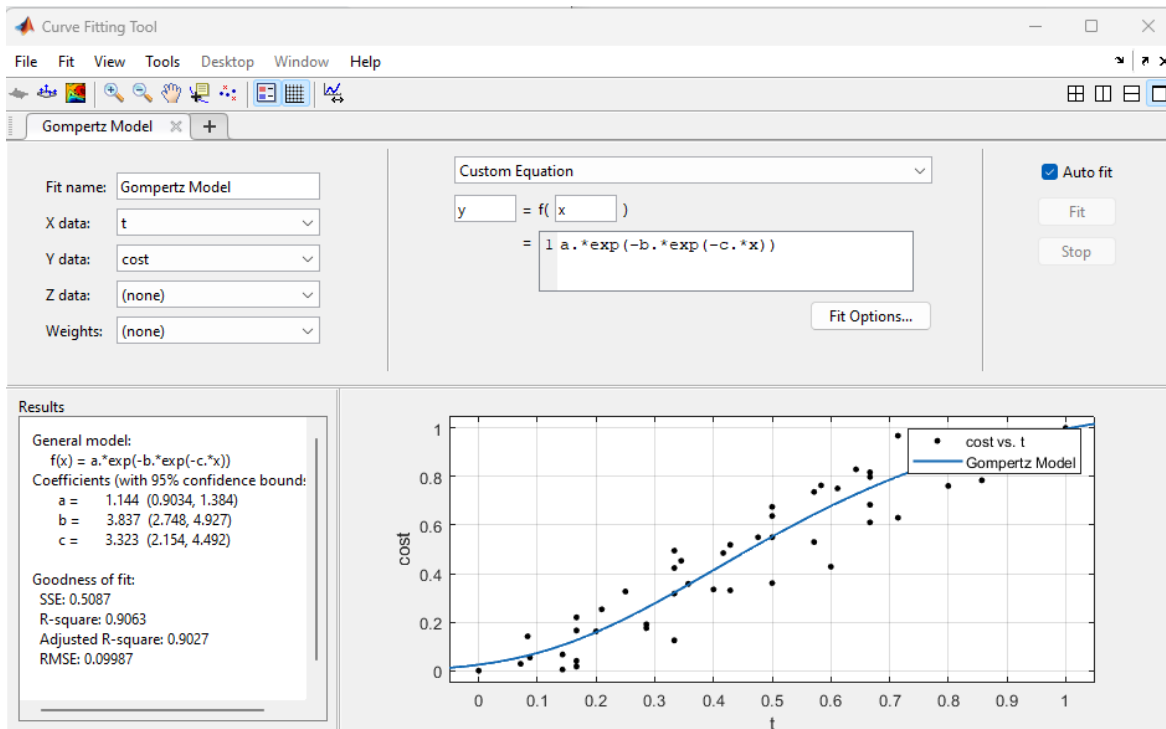
### 3. CURVA PATRÓN MEDIANTE EL MODELO DE GOMPERTZ

#### 3.1 Método de mínimos cuadrados para ajuste de datos

En el presente trabajo se analizará los datos de proyectos usando la herramienta de software MATLAB, que mediante su aplicación “Curve Fitting” se ingresa los datos en el eje de ordenadas (costo acumulado) y las abscisas (tiempo). Obtenida la nube de datos, este método busca minimizar el error entre los puntos y la curva que se quiere encontrar. Para ello se debe ingresar una función para que el programa busque los parámetros que encajen de mejor manera y cumplan con las menores distancias al cuadrado y la curva. En MATLAB se debe seleccionar la opción de “Custom Equation” para luego ingresar la ecuación de Gompertz como se puede observar a continuación:

#### Figura 2

*Ingreso de Datos en MATLAB para hallar la ecuación del Modelo de Gompertz*



### 3.2 Curva Patrón

Para hallar la curva patrón se disponía de veintitrés proyectos de agua potable de la provincia de Pichincha de los cuales, se descartaron aquellos que constaban con menos de cinco datos dado que se consideró que no eran representativos y generaban distorsión. Además, no entraron en la nube de datos aquellos que presentaban reprogramaciones. Dando como resultado cincuenta y cuatro pares de datos de un total de once proyectos a los cuales, se los estandarizó porque los proyectos se realizaron en distintitos plazos y con diferentes montos, entonces para homogenizarlos y poder alimentar el modelo se los llevó a la unidad como se observa a continuación:

**Tabla 1**

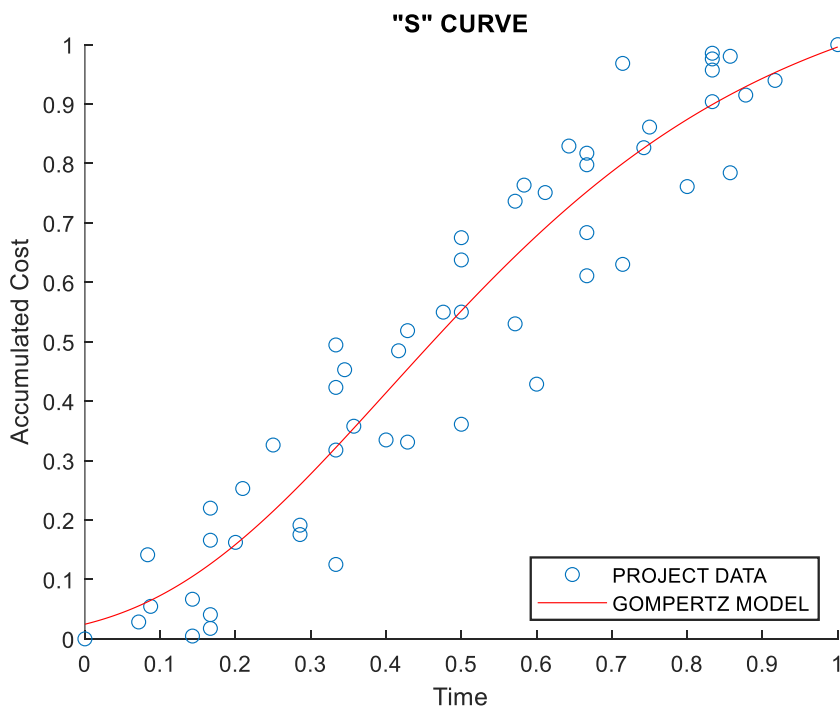
*Ejemplo de Estandarización de Datos para el Proyecto 1: Mindo*

<b>NOMBRE PROYECTO</b>			
AGUA POTABLE MINDO			
<b>MONTO FINAL</b>		865,337.79	USD
<b>TIEMPO</b>		270	DÍAS
<b>TIEMPO (MESES)</b>	<b>EV (USD)</b>	<b>TIEMPO (ESTANDARIZADO)</b>	<b>COSTO (ESTANDARIZADO)</b>
0	0.00	0.00	0.00
1	162,355.59	0.11	0.19
2	268,348.77	0.22	0.31
3	400,975.19	0.33	0.46
4	693,391.48	0.44	0.80
5	783,788.31	0.56	0.91
6	795,766.58	0.67	0.92
7	797,795.73	0.78	0.92
8	814,432.49	0.89	0.94
9	865,337.79	1.00	1.00

Este procedimiento se realizó para cada uno de los datos (Anexo 1), con los cuales se halló la curva patrón siguiente:

**Figura 3**

*Curva "S" Patrón para Proyectos de Agua Potable en la Provincia de Pichincha (sin Ajuste)*



Con esta data, se ingresó al sistema de cómputo MATLAB, donde mediante el uso de la herramienta "Curve Fitting" se obtuvo los parámetros que permitieron la obtención de la curva del modelo.

$$N = 1.144$$

$$b = 3.837$$

$$r = 3.323$$

Dando como resultado la ecuación:

$$P(t) = 1.144 e^{-3.837 e^{-3.323t}} \quad (8)$$

Como se trata de una curva que representa el costo acumulado a lo largo del tiempo, entonces se requiere que la curva inicie en los valores de (0,0), para ello se debe realizar un ajuste mediante la resta del valor inicial en tiempo cero lo cual representaría una pequeña traslación, entonces se obtiene:

$$P(0) = 1.144 e^{-3.837} e^{-3.323(0)} = 1.144 e^{-3.837}$$

También se requiere que la curva llegue al punto (1,1) por lo tanto se realizará una elongación a la curva, mediante la multiplicación de un factor de escala "D":

$$P(t) = D * (1.144 e^{-3.837} e^{-3.323(t)} - 1.144 e^{-3.837})$$

$$1 = D * (1.144 e^{-3.837} e^{-3.323(1)} - 1.144 e^{-3.837})$$

$$D = 1.0293$$

Entonces la ecuación corregida es:

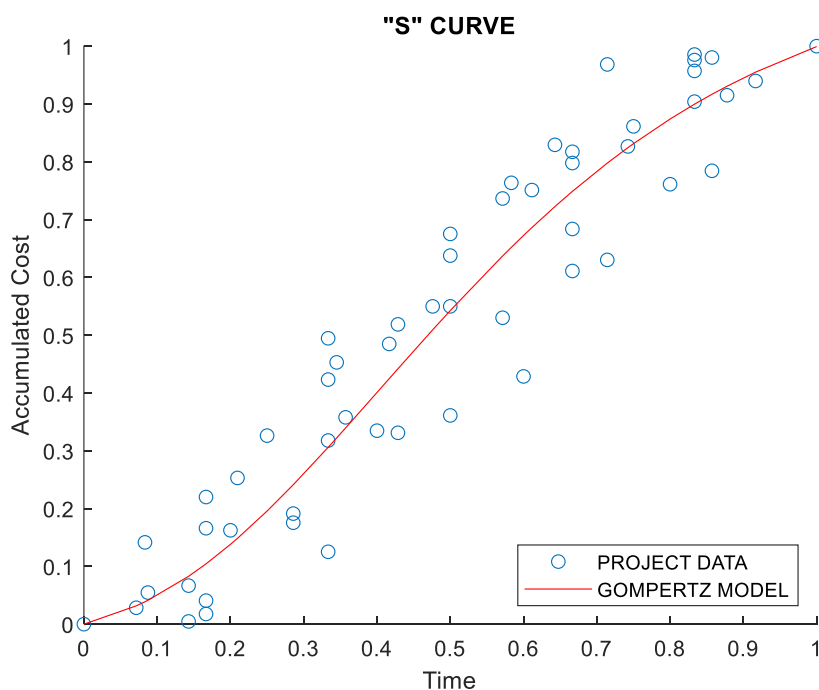
$$P(t) = 1.0293 * (1.144 e^{-3.837} e^{-3.323(t)} - 1.144 e^{-3.837}) \quad (9)$$

En esta ecuación el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es de 0.9063 por lo que se puede decir que la curva se ajusta bien a la data.

## Figura 4

*Curva "S" Patrón para Proyectos de Agua Potable en la Provincia de Pichincha*

*Ajustada*



### 3.3 Comprobación del Modelo

#### 3.3.1 Proyectos del Periodo 2018-2022

Los proyectos en este periodo fueron tomados de la página del Sistema Oficial de Contratación Pública en el periodo 2018-2022, los cuales contaron con la documentación completa requerida de cronograma y planillas. Estos nuevos datos se agregaron a la nube de puntos de la que se halló la ecuación patrón.

A continuación, se detalla la información de cada proyecto:

**3.3.1.1 Proyecto 1: Construcción de Red de Agua Potable en la Calle Titusana y Matrosaragosin y Transversales (Cotogchoa)**

**Tabla 2**

*Datos del Proyecto Nuevo 1: Cotogchoa*

<b>NOMBRE PROYECTO</b>		AGUA POTABLE COTOGCHOA	
<b>MONTO FINAL</b>	56,795.22		USD
<b>TIEMPO</b>	84		DÍAS
<b>EV (USD)</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>COSTO %</b>	<b>PV</b>
0.00	0.00	0.00	0.00
29,466.78	0.24	0.52	13,869.54
53,997.93	0.84	0.95	34,454.45
56,795.22	1.00	1.00	58,071.39

**3.3.1.2 Proyecto 2: Extensión de Redes de Agua Potable Administración Zonal Quitumbe y Eloy Alfaro**

**Tabla 3**

*Datos del Proyecto Nuevo 2: Quitumbe y Eloy Alfaro*

<b>NOMBRE PROYECTO</b>		EXTENSIÓN DE REDES QUITUMBE Y ELOY ALFARO	
<b>MONTO FINAL</b>	138,784.15		USD
<b>TIEMPO</b>	120		DÍAS
<b>EV (USD)</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>COSTO %</b>	<b>PV</b>
0.00	0.00	0.00	0.00
8,519.35	0.22	0.06	6,746.12
55,588.87	0.47	0.40	36,392.83
97,186.51	0.73	0.70	86,365.44
138,784.15	1.00	1.00	156,647.36
			168,162.77

### 3.3.1.3 *Proyecto 3: Reparación de Agua Potable en Parroquias*

**Tabla 4**

*Datos del Proyecto Nuevo 3: Parroquias*

<b>NOMBRE PROYECTO</b>	<b>REPARACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE EN PARROQUIAS</b>		
<b>MONTO FINAL</b>	437,536.68		USD
<b>TIEMPO</b>	360		DÍAS
<b>EV (USD)</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>COSTO %</b>	<b>PV</b>
0.00	0.00	0.00	0.00
35,946.62	0.08	0.10	34,220.55
109,349.74	0.25	0.33	70,816.50
203,442.16	0.46	0.55	106,971.61
315,774.45	0.72	0.77	143,126.72
437,536.68	1.00	1.00	179,281.83
			215,436.94
			251,592.05
			287,747.16
			323,902.27
			360,057.38
			398,647.79
			437,598.1

### 3.3.1.4 Proyecto 4: Implementación y Cambio de Tuberías de Asbesto Cemento

#### a PVC – Construcción Cambio de Red Calle la Concordia

**Tabla 5**

*Datos del Proyecto Nuevo 4: Calle la Concordia*

<b>NOMBRE PROYECTO</b>	AGUA POTABLE CALLE LA CONCORDIA		
<b>MONTO FINAL</b>	41,105.78		USD
<b>TIEMPO</b>	56		DÍAS
<b>EV (USD)</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>COSTO %</b>	<b>PV</b>
0.00	0.00	0.00	0.00
11,495.58	0.32	0.28	19,581.88
37,442.38	0.78	0.91	63,548.09
41,105.78	1.00	1.00	74,884.96

### 3.3.1.5 Proyecto 5: Construcción, Cambio y Reubicación de las Redes de Agua

#### Potable Sector Pullincate, Sector el Taxo

**Tabla 6**

*Datos del Nuevo Proyecto 5: Sector El Taxo*

<b>NOMBRE PROYECTO</b>	AGUA POTABLE SECTOR EL TAXO		
<b>MONTO FINAL</b>	72,589.87		USD
<b>TIEMPO</b>	56		DIAS
<b>EV (USD)</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>COSTO %</b>	<b>PV</b>
0.00	0.00	0.00	0.00
10,523.09	0.21	0.14	34,275.89
65,470.63	0.65	0.76	79,929.95
72,589.87	1.00	1.00	

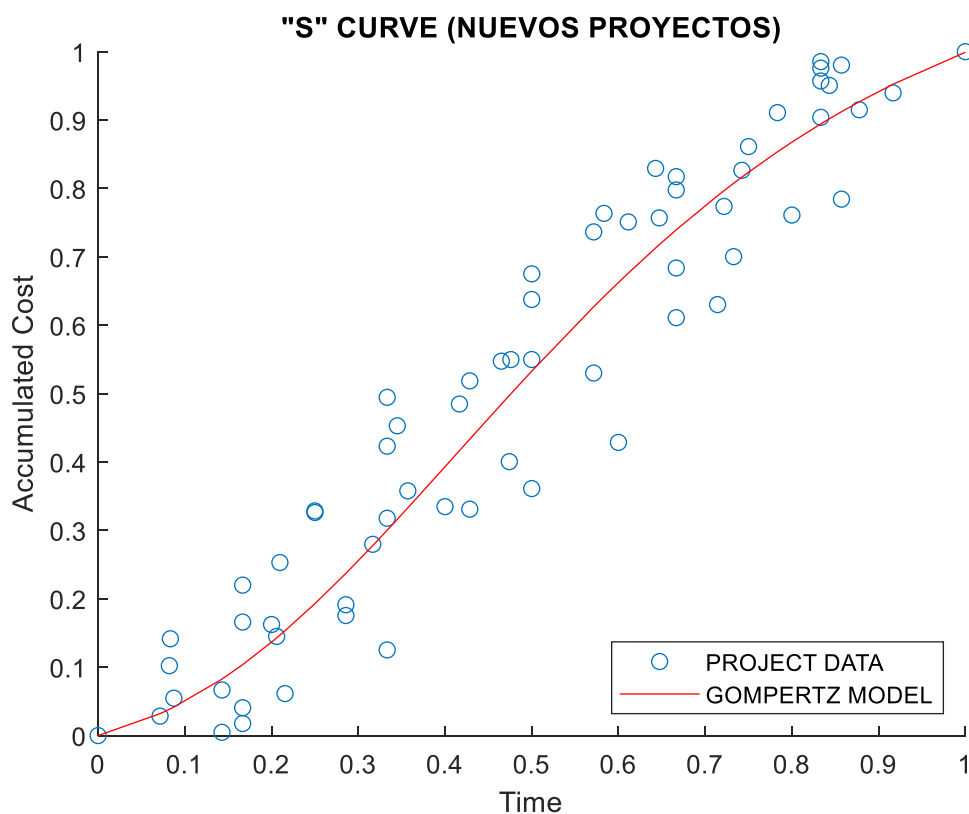
### 3.3.2 Comprobación de la curva patrón con los proyectos de 2018-2022

Al añadir los datos presentados a la nube de puntos, se hallaron nuevos parámetros y el valor del coeficiente de determinación fue mayor al hallado anteriormente. El nuevo coeficiente de determinación con es de 0.9206, el cual sobrepasa al obtenido anteriormente de 0.9063. Entonces, se puede concluir que a medida que se alimente el modelo con más proyectos, la curva permitirá una estimación más precisa. La nueva ecuación obtenida fue:

$$P(t) = 1.0313 * (1.160 e^{-3.774 e^{-3.211(t)}} - 1.160 e^{-3.774}) \quad (10)$$

**Figura 5**

*Curva "S" Incluyendo los Proyectos Hallados en el período 2018-2022*



## 4. COMPARACIÓN CON EL MODELO LOGÍSTICO

### 4.1 Análisis de Resultados del Modelo Logístico

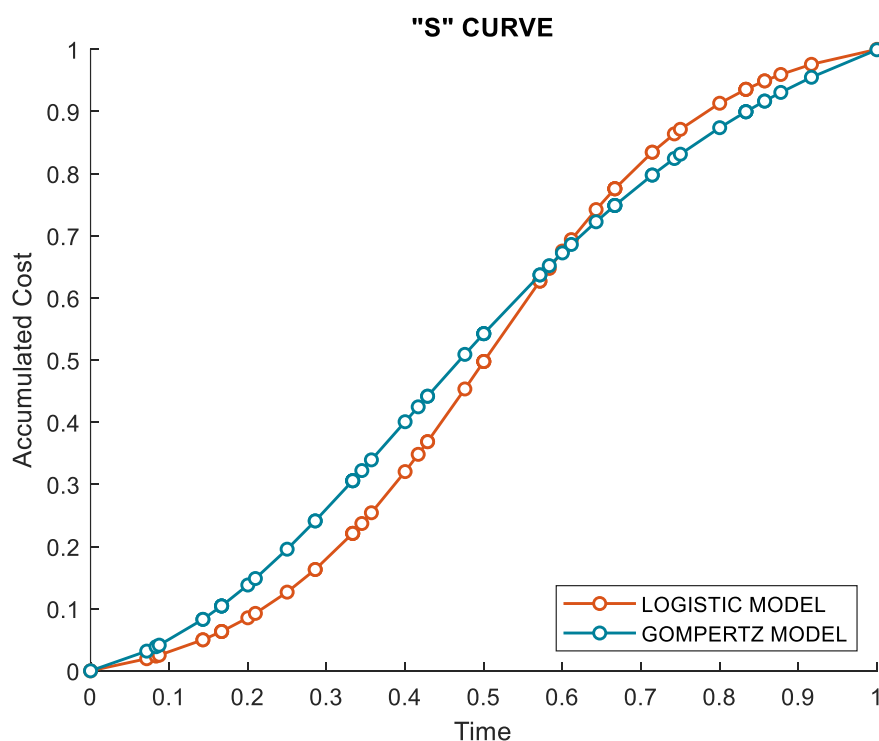
El modelo logístico considerado es el de la curva patrón aplicado en la tesis de Granja (2019) donde se obtiene la ecuación:

$$x(t) = 1.064519 * \left[ \frac{e^{6.931472 t}}{e^{3.475492} + e^{6.931472 t}} - \frac{1}{e^{3.475492} + 1} \right] \quad (11)$$

La cual se halló mediante los mismos once proyectos que se tomaron en cuenta para aplicar el modelo de Gompertz (Figura 5). En la siguiente figura se puede observar ambas gráficas estandarizadas y corregidas:

**Figura 6**

*Gráfica del Modelo Logístico en Comparación al Modelo de Gompertz para Proyectos de Agua Potable en la Provincia de Pichincha*



El modelo Logístico representa una curva con un comportamiento simétrico a diferencia del modelo de Gompertz. Ambas curvas representan el comportamiento de un proyecto de construcción, en los que al principio crecen de manera lenta, en las primeras actividades, para luego aumentar más rápido, cuando se desarrolla la mayor parte del proyecto y finalmente se va reduciendo otra vez hasta terminar con el monto total.

En la tesis de Granja (2019) se halló que los coeficientes de determinación van desde 0.87 a 1, siendo 0.92 el coeficiente de determinación promedio de todos los proyectos y su correlación de 0.96. Estos datos fueron hallados usando los proyectos que no tenían reprogramaciones. Al tener valores altos, se puede interpretar que el modelo Logístico se ajusta de manera satisfactoria en cuanto a la tendencia de la curva.

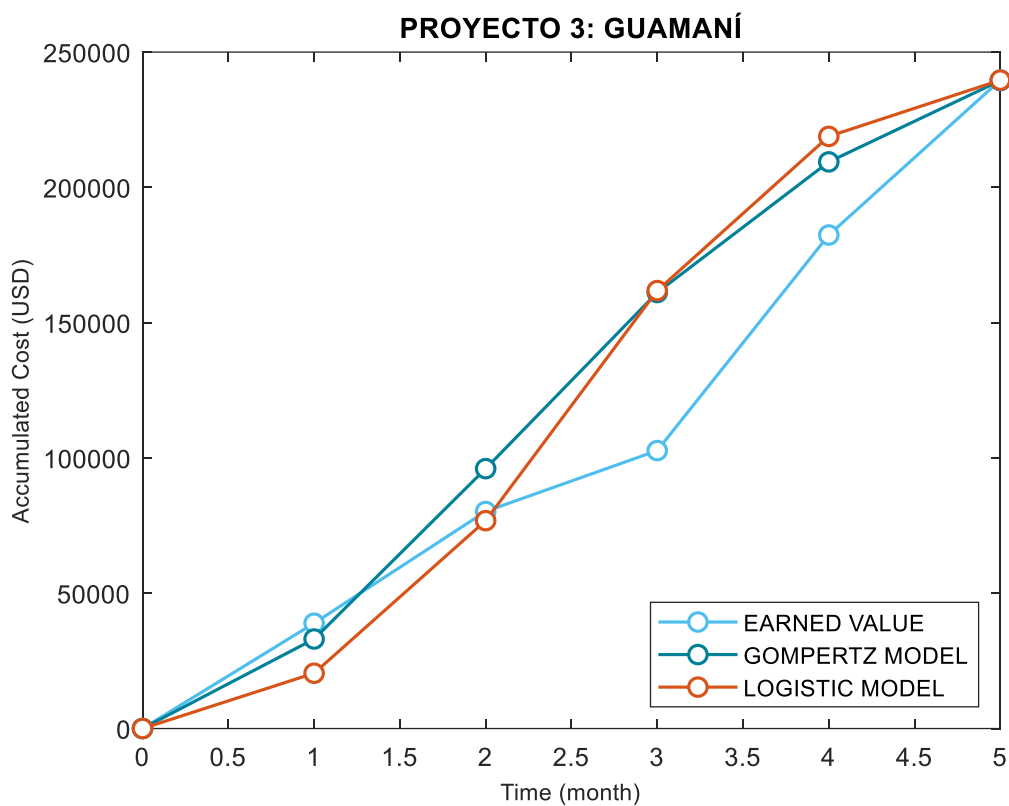
#### **4.2 Comparación entre el Modelo Logístico y Modelo de Gompertz en proyectos**

A continuación, se presentarán algunos ejemplos de proyectos en los que se podrá observar las diferencias entre los métodos.

### 4.2.1 Agua Potable San Isidro Guamaní

**Figura 7**

*Comparación del Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 3: Guamaní*



**Tabla 7**

*Comparación del Coeficiente de Determinación y Correlación entre el Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 3: Guamaní*

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (R <sup>2</sup> )		CORRELACIÓN (R)	
MODELO DE GOMPERTZ	MODELO LOGÍSTICO	MODELO DE GOMPERTZ	MODELO LOGÍSTICO
0.9388	0.9248	0.9689	0.9617

**Tabla 8**

*Comparación entre Proyecciones del Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 3:*

*Guamaní*

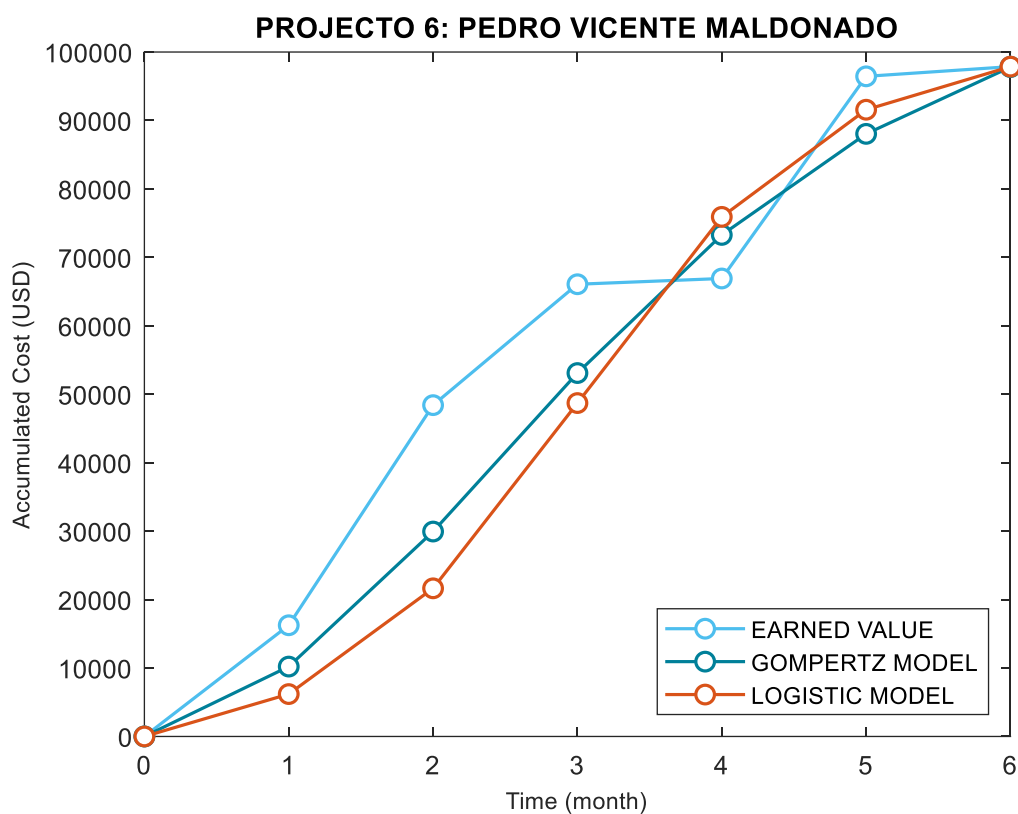
<b>TIEMPO</b>	<b>EV</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>LOGÍSTICO</b>
0	0.00	0.00	0.00
1	38918.83	33106.56	20441.23
2	80221.75	96108.92	76820.53
3	102717.49	161244.36	161848.59
4	182383.78	209563.78	218842.36
5	239628.94	239628.94	239628.94

Como se observa, los valores iniciales del modelo Logístico son menores al principio y mayores al final, mientras que en Gompertz el crecimiento es más lento, lo cual se asemeja más al comportamiento real del proyecto al compararlo con el valor ganado.

**4.2.2 Construcción del Sistema de Agua Potable para la Comunidad de Santa Eulalia, Parroquia Malchingui (Pedro Vicente Maldonado)**

**Figura 8**

*Comparación del Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 6: Pedro Vicente Maldonado*



**Tabla 9**

*Comparación del Coeficiente de Determinación y Correlación entre el Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 6: Pedro Vicente Maldonado*

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (R <sup>2</sup> )		CORRELACIÓN (R)	
MODELO DE GOMPERTZ	MODELO LOGÍSTICO	MODELO DE GOMPERTZ	MODELO LOGÍSTICO
0.9506	0.9139	0.9750	0.9560

**Tabla 10**

*Comparación entre Proyecciones del Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 6:*

*Pedro Vicente Maldonado*

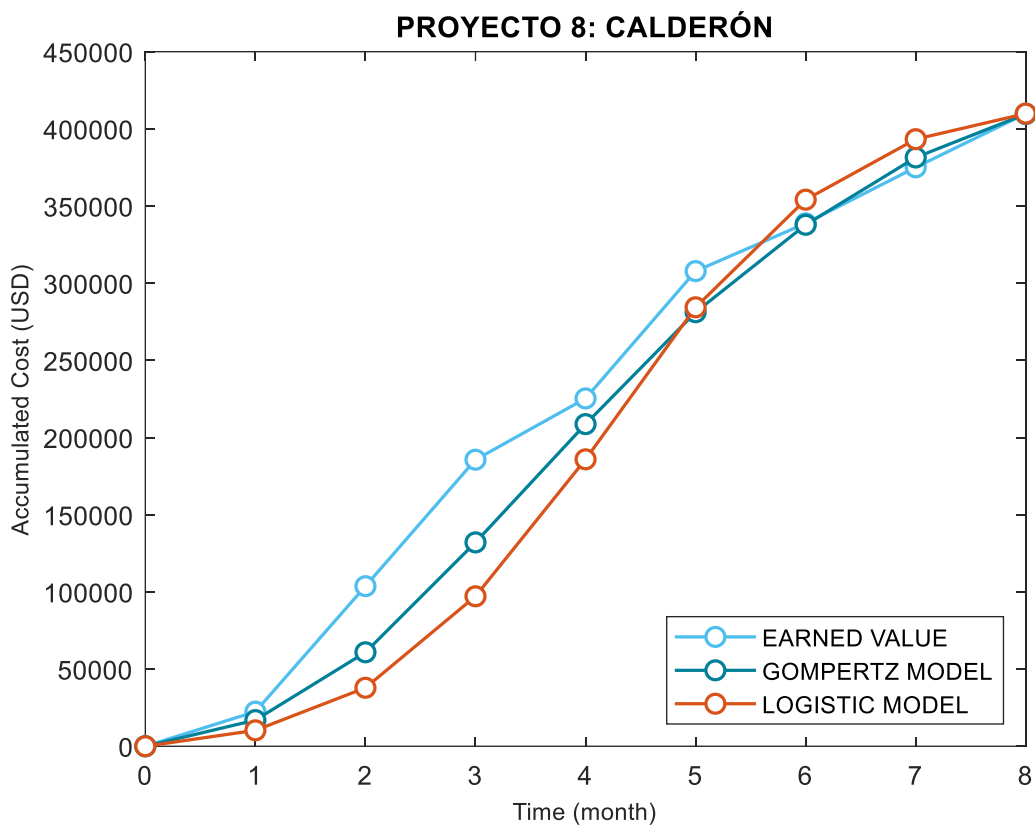
<b>TIEMPO</b>	<b>EV</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>LOGÍSTICO</b>
0	0.00	0.00	0.00
1	16246.04	10216.81	6192.73
2	48405.39	29959.27	21642.68
3	66071.87	53133.51	48708.92
4	66910.97	73330.28	75913.06
5	96447.69	88105.21	91566.38
6	97866.30	97866.30	97866.30

En el caso de este proyecto, los valores iniciales son más cercanos al modelo de Gompertz, pero al final de la curva del valor ganado son más próximos los valores del Logístico, sin embargo, si se observa el coeficiente de determinación se observa que es mayor en el modelo de Gompertz, al igual que en el de correlación por lo que este modelo se ajustaría de mejor manera a la tendencia de este proyecto.

### 4.2.3 Redes de Agua Potable San Juan de Calderón Alto, Parroquia Calderón

**Figura 9**

*Comparación del Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 8: Calderón*



**Tabla 11**

*Comparación del Coeficiente de Determinación y Correlación entre el Modelo Logístico*

*y Gompertz para el Proyecto 8: Calderón*

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (R <sup>2</sup> )		CORRELACIÓN (R)	
MODELO DE GOMPERTZ	MODELO LOGÍSTICO	MODELO DE GOMPERTZ	MODELO LOGÍSTICO
0.9831	0.9580	0.9915	0.9788

**Tabla 12**

*Comparación entre Proyecciones del Modelo Logístico y Gompertz para el Proyecto 8:*

*Calderón*

<b>TIEMPO</b>	<b>EV</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>LOGÍSTICO</b>
0	0.00	0.00	0.00
1	22414.79	16947.32	10311.68
2	103708.29	60918.09	37887.45
3	185651.61	132172.69	97161.27
4	225356.79	208854.68	185893.29
5	307838.93	281399.34	284395.55
6	338787.45	338107.44	354115.76
7	375065.98	381735.09	393302.38
8	409885.01	409885.01	409885.01

Como se observa en los ejemplos, el coeficiente de determinación y la correlación son mayores en el modelo de Gompertz. En cada uno de los proyectos estudiados se halló un resultado similar, por lo que se puede decir que en todos los casos analizados se obtuvo una mejor aproximación con este modelo.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Presentación de resultados: Aplicación del modelo a los proyectos

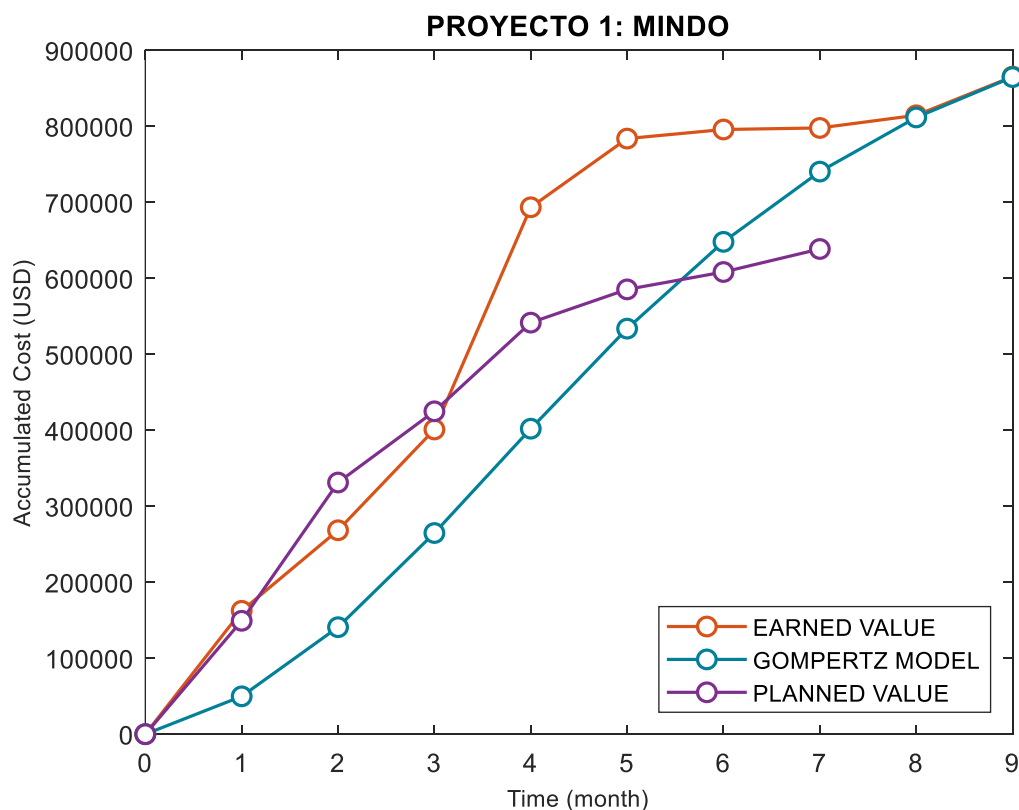
A continuación, se presentarán algunos de los proyectos donde se observa la aplicación del modelo usando la ecuación (9), estos proyectos se eligieron dado que cuentan con mínimo cinco puntos para poder observar el comportamiento de la curva.

#### 5.1.1 Proyecto 1: Construcción de Sistema de Agua Potable en Mindo

Este proyecto se llevó a cabo en un plazo de 9 meses, como se puede identificar en la gráfica (Figura 8) es un proyecto atípico debido al gran desembolso de dinero que se observa en el cuarto y quinto mes. Además, se planificó terminarlo en 7 meses, pero la realidad fue que aumentó a 9 al igual que el presupuesto, alrededor de un 36%.

**Figura 10**

*Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 1: Mindo*



**Tabla 13***Resultados del Proyecto 1: Mindo*

<b>DURACIÓN (MESES)</b>	<b>EV</b>	<b>PV</b>	<b>SV</b>	<b>SPI</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
0	0.00	0.00	0.00	-	0.00	
1	162355.59	149221.25	13134.34	1.09	49848.19	
2	268348.77	331185.20	-62836.43	0.81	140904.41	
3	400975.19	424900.73	-23925.54	0.94	264901.05	
4	693391.48	541606.35	151785.13	1.28	402284.05	0.9017
5	783788.31	585331.27	198457.04	1.34	534063.06	
6	795766.58	608197.45	187569.13	1.31	648389.31	
7	797795.73	638512.87	159282.86	1.25	740888.23	
8	814432.49		814432.49		812189.72	
9	865337.79		865337.79		865337.79	

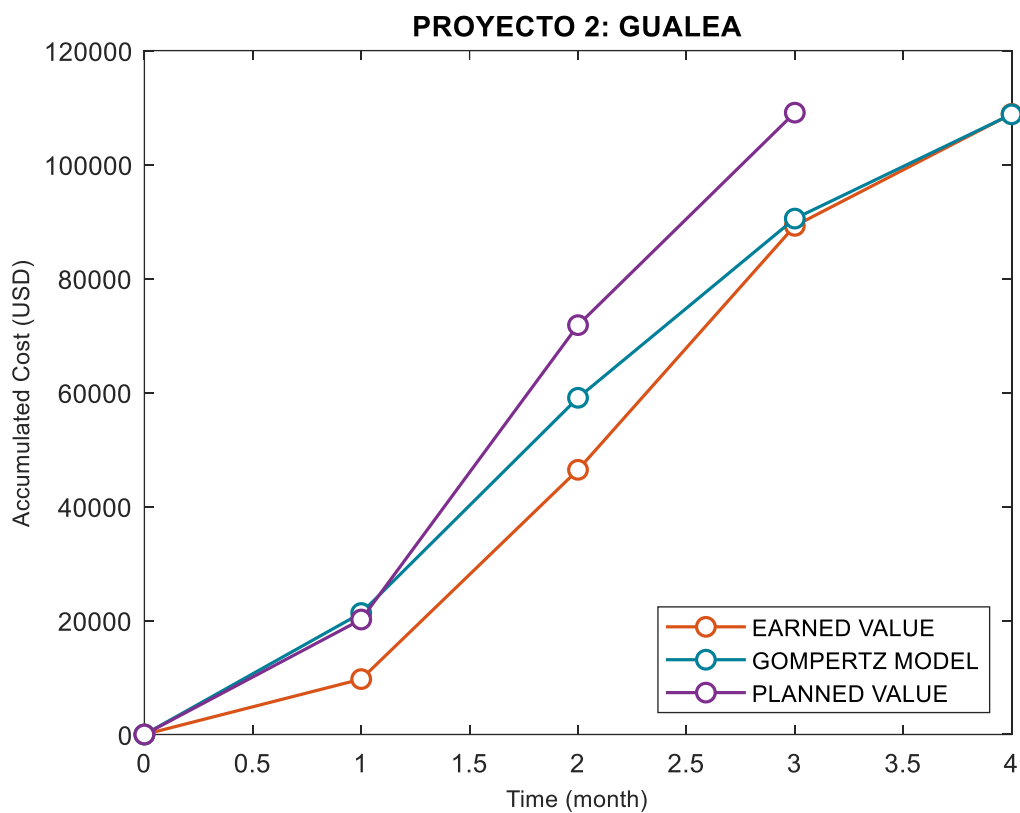
Se puede observar también que el proyecto estaba atrasado en el segundo y tercer mes, pero luego se regulariza, aunque sea un proyecto atípico, el coeficiente de determinación sigue siendo alto por lo cual el modelo funciona correctamente.

### 5.1.2 Proyecto 2: Red de Agua Potable para Provenir y Varios Sectores de la Parroquia Gualea

Este proyecto se desarrolló en un plazo de 4 meses, como se observa en la gráfica (Figura 9) el proyecto tuvo que aplazarse un mes más.

**Figura 11**

*Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 2: Red de Agua Potable Gualea*



**Tabla 14***Resultados del Proyecto 2: Gualea*

<b>DURACIÓN (MESES)</b>	<b>EV</b>	<b>PV</b>	<b>SV</b>	<b>SPI</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
0	0.00	0.00	0.00	-	0.00	
1	9717.12	20173.97	-10456.85	0.48	21327.86	
2	46438.51	71823.92	-25385.41	0.65	59120.87	0.9831
3	89246.47	109110.23	-19863.76	0.82	90584.14	
4	108894.37		108894.37		108894.37	

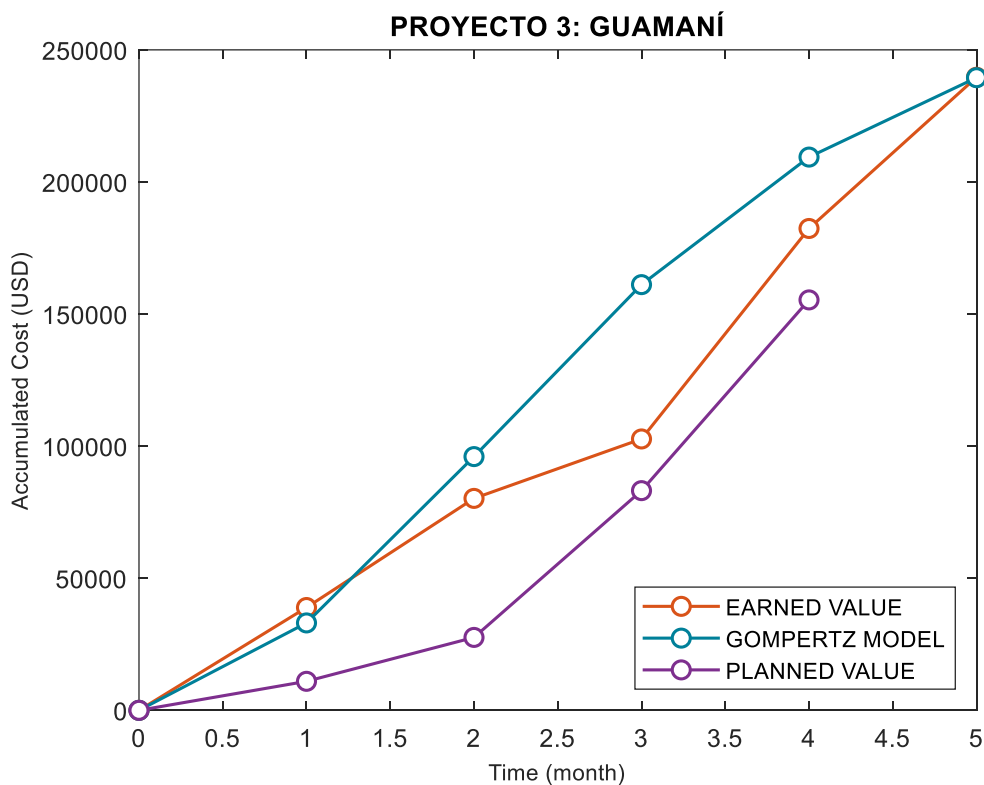
Por los indicadores se observa que el proyecto estuvo retrasado desde el principio por lo que el aplazamiento se podía prever y se debió tomar acciones al respecto. En este proyecto el coeficiente de determinación es mucho más alto que en el anterior, esto se da debido a que el Proyecto 1 tenía un comportamiento atípico.

### 5.1.3 Proyecto 3: Agua Potable San Isidro de Guamaní

Este proyecto constó de un plazo de 4 meses, pero se extendió 1 mes más, al igual que el monto presupuestado, el cual se excedió en alrededor del 54%.

**Figura 12**

*Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 3: San Isidro de Guamaní*



**Tabla 15**

*Resultados del Proyecto 3: Guamaní*

DURACIÓN (MESES)	EV	PV	SV	SPI	GOMPERTZ	R <sup>2</sup>
0	0.00	0.00	0.00	-	0.00	
1	38918.83	10981.64	27937.19	3.54	33106.56	
2	80221.75	27601.32	52620.43	2.91	96108.92	
3	102717.49	83158.11	19559.38	1.24	161244.36	0.9388
4	182383.78	155351.14	27032.64	1.17	209563.78	
5	239628.94		239628.94		239628.94	

Los indicadores muestran que el proyecto iba adelantado, por lo que podría tratarse de rubros nuevos que hicieron que el proyecto tenga mayor duración. Sin embargo, la curva se adapta al modelo y el coeficiente de determinación demuestra que la estimación es satisfactoria.

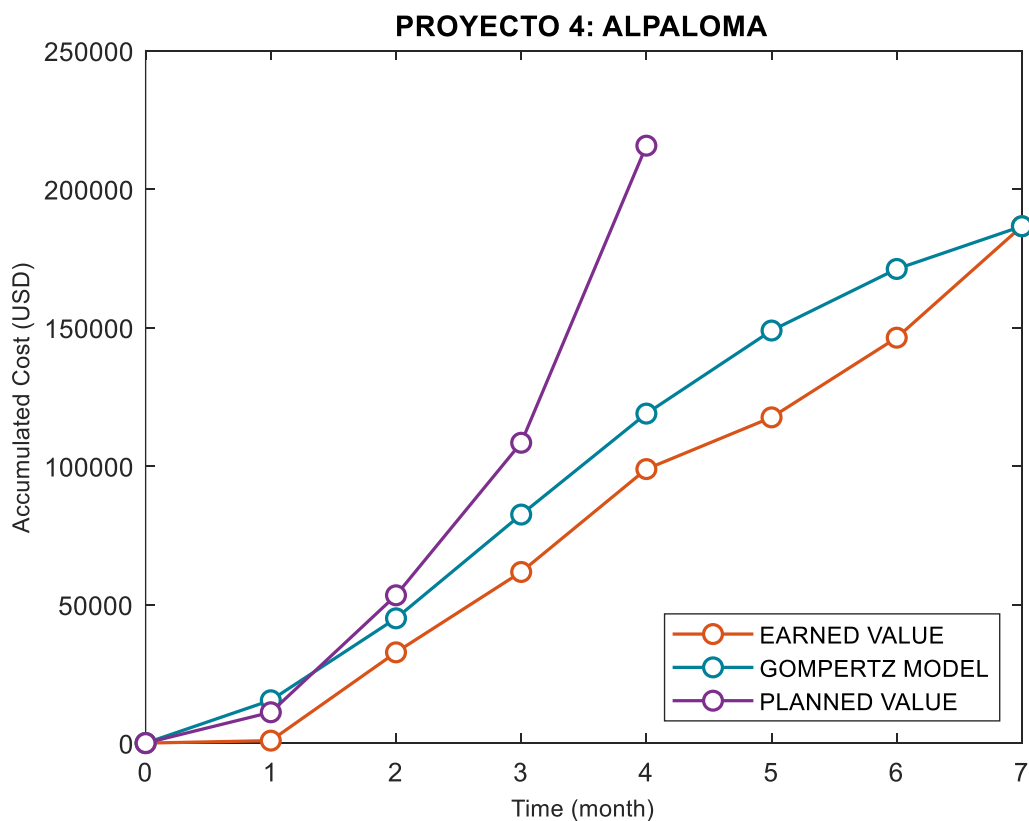
#### 5.1.4 Proyecto 4: Red de Agua Potable para el Barrio Yurac Alpaloma y Varios

##### Sectores

Este proyecto se planificó con una duración de 4 meses, pero realmente se realizó en 7. Se observa también que se estimó un monto al que no se llegó con las planillas, con una diferencia del 16% aproximadamente.

**Figura 13**

*Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 4: Alpaloma*



**Tabla 16***Resultados del Proyecto 4: Alpaloma*

<b>DURACIÓN (MESES)</b>	<b>EV</b>	<b>PV</b>	<b>SV</b>	<b>SPI</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
0	0.00	0.00	0.00	-	0.00	
1	886.73	11124.04	-10237.31	0.08	15458.19	
2	32756.33	53355.3	-20598.97	0.61	45037.68	
3	61777.03	108423.95	-46646.92	0.57	82502.05	0.9763
4	98915.87	215671.63	-116755.76	0.46	118945.91	
5	117584.07		117584.07		148941.74	
6	146352.60		146352.60		171167.49	
7	186586.83		186586.83		186586.83	

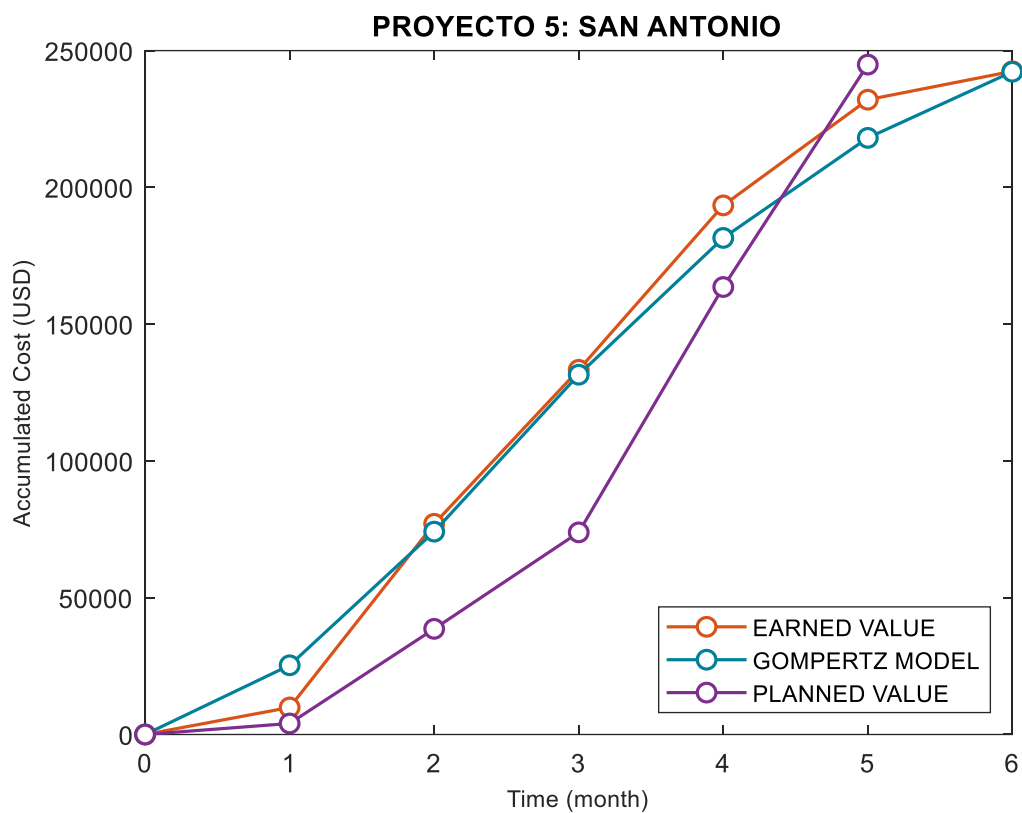
Los indicadores ponen en evidencia que el proyecto iba muy retrasado, dando como resultado que el plazo se extendiera 3 meses más de lo previsto. El modelo de Gompertz ofrece una curva que se adapta al desarrollo del proyecto para evitar estos retrasos y ayudan a obtener una planificación más precisa.

**5.1.5 Proyecto 5: Extensión de Redes de Agua Potable Parroquias San Antonio de Pichincha, Calacalí y Pomasqui (Tanlahua)**

Este proyecto fue planificado para 5 meses, pero como muestra la figura 12, se requirió un mes más de plazo. El presupuesto por otro lado fue cercano al planeado.

**Figura 14**

*Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 5: San Antonio de Pichincha*



**Tabla 17***Resultados del Proyecto 5: San Antonio*

<b>DURACIÓN (MESES)</b>	<b>EV</b>	<b>PV</b>	<b>SV</b>	<b>SPI</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
0	0.00	0.00	0.00	-	0.00	
1	9877.03	4023.58	5853.45	2.45	25308.48	
2	77025.80	38613.92	38411.88	1.99	74213.33	
3	133307.61	73882.25	59425.36	1.80	131619.22	0.9945
4	193409.63	163576.05	29833.58	1.18	181649.46	
5	232042.87	244884.16	-12841.29	0.95	218249.04	
6	242428.64		242428.64		242428.64	

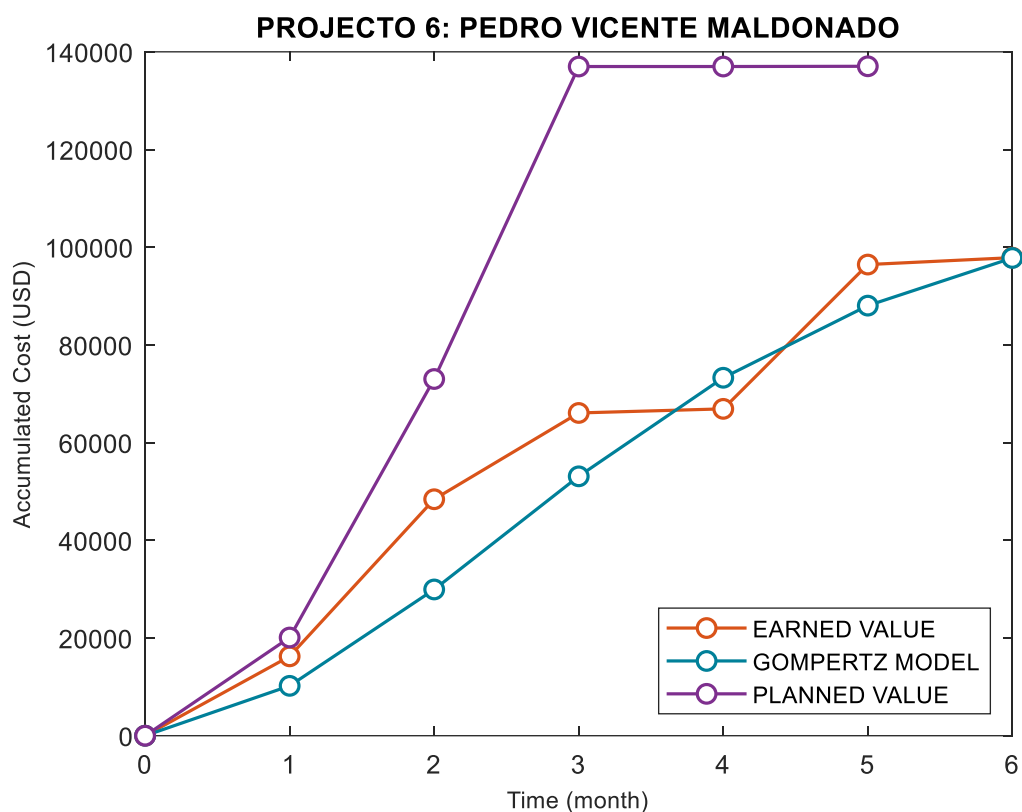
A través de la gráfica, se puede evidenciar que el proyecto podría haber tenido una mejor planificación desde el inicio de sus actividades, como se observa en el modelo de Gompertz. En el mes 5 según los indicadores, se produjo un retraso debido a que no se alcanzaron los trabajos planificados. En este proyecto, se puede apreciar la similitud entre el comportamiento del modelo y el valor ganado, lo cual se refleja en un coeficiente de determinación cercano a 1, lo que demuestra que el modelo es satisfactorio.

### 5.1.6 Proyecto 6: Construcción del Sistema de Agua Potable para la Comunidad de Santa Eulalia, Parroquia Malchingui (Pedro Vicente Maldonado)

Este proyecto presenta una planificación deficiente, ya que se esperaba que tuviera una duración de 5 meses, pero en realidad tomó 6 meses para completarse. Además, se observa una discrepancia significativa entre el valor planeado y el valor real pagado según se muestra en la figura 15.

**Figura 15**

*Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 6: Malchingui-Pedro Vicente Maldonado*



**Tabla 18***Resultados del Proyecto 6: Pedro Vicente Maldonado*

<b>DURACIÓN (MESES)</b>	<b>EV</b>	<b>PV</b>	<b>SV</b>	<b>SPI</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
0	0.00	0.00	0.00	-	0.00	
1	16246.04	20100.37	-3854.33	0.81	10216.81	
2	48405.39	73020.65	-24615.26	0.66	29959.27	
3	66071.87	136990.07	-70918.20	0.48	53133.51	0.9506
4	66910.97	136990.07	-70079.10	0.49	73330.28	
5	96447.69	137036.32	-40588.63	0.70	88105.21	
6	97866.30		97866.30		97866.30	

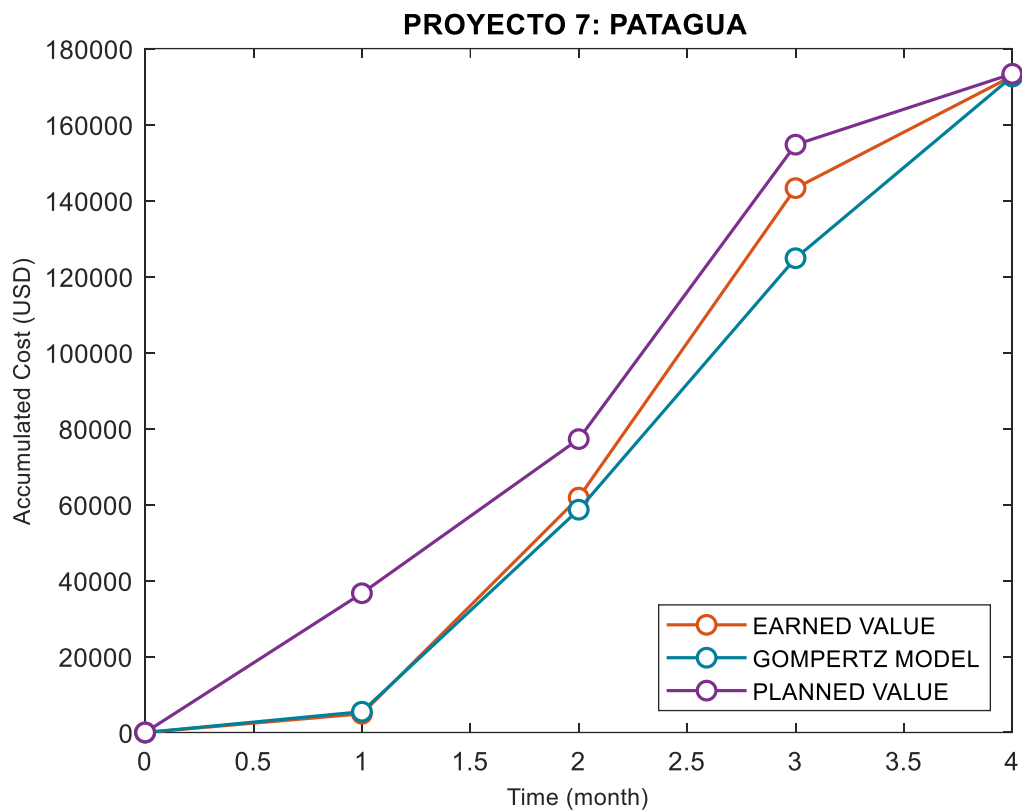
Al tratarse de una mala planificación, los indicadores muestran que el proyecto estuvo retrasado desde un inicio, sobre todo en el tercer y cuarto mes, donde las actividades estuvieron muy por debajo de lo que recomienda el modelo de Gompertz.

### 5.1.7 Proyecto 7: Construcción Sistema de Agua Potable en Patagua

Este proyecto a diferencia de la mayoría de los presentados logra concluir en el plazo planificado de 4 meses, sin embargo, se puede observar como las actividades planificadas no son alcanzadas.

**Figura 16**

*Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 7: Patagua*



**Tabla 19***Resultados del Proyecto 7: Patagua*

<b>DURACIÓN (MESES)</b>	<b>EV</b>	<b>PV</b>	<b>SV</b>	<b>SPI</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
0	0.00	0.00	0.00	-	0.00	
1	4914.55	36646.77	-31732.22	0.13	5479.74	
2	61820.73	77214.81	-15394.08	0.80	58683.89	0.9912
3	143268.81	154710.56	-11441.75	0.93	124914.62	
4	172762.78	173366.84	-604.06	1.00	172762.78	

Los indicadores muestran que el proyecto iba atrasado, sobre todo al inicio, entonces se recomienda que se siga la tendencia de la curva de Gompertz para poder obtener una mejor distribución de actividades. Un aspecto importante para considerar es que, en proyectos de este tipo, que solo cuentan con plazos cortos, la gráfica no se logra visualizar de manera óptima, pero el coeficiente de determinación indica que la curva cumple satisfactoriamente con la tendencia de este proyecto.

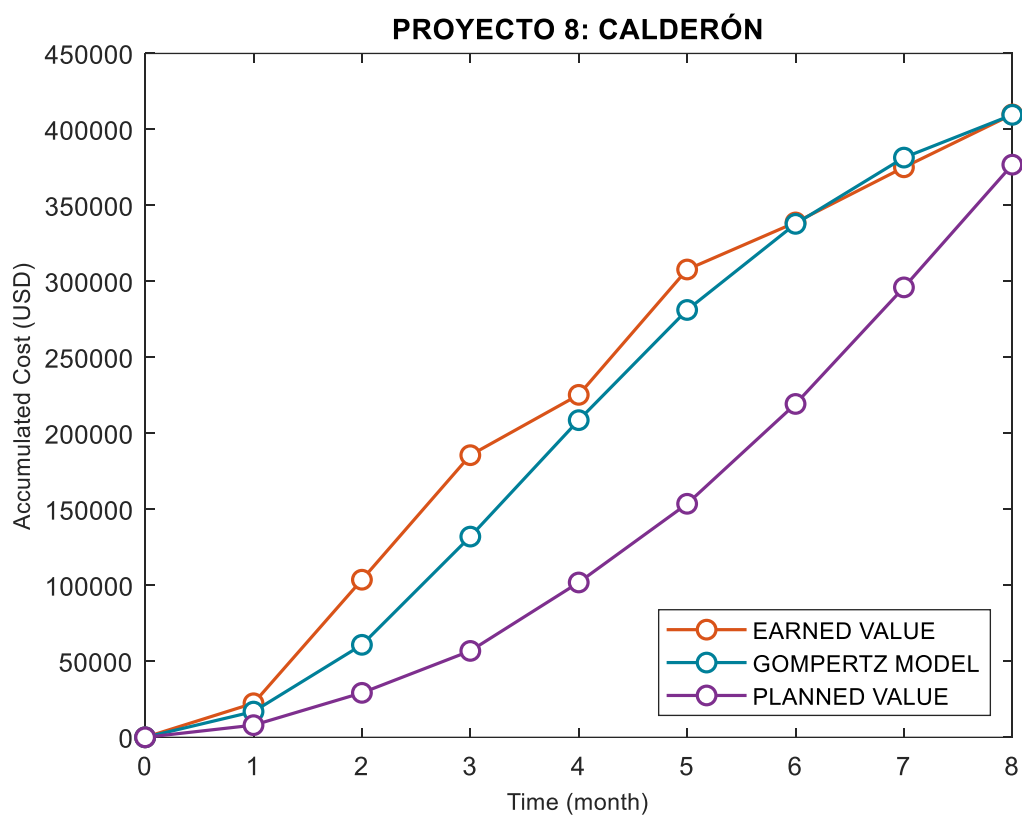
### 5.1.8 Proyecto 8: Redes de Agua Potable San Juan de Calderón Alto, Parroquia

#### Calderón

En este proyecto sí se logra cumplir con el plazo planificado, el cual fue de 8 meses, sin embargo, el monto presupuestado se superó en un 9% a lo que se esperaba. En la figura 15 se puede observar con claridad como el modelo se acerca mucho más al valor ganado que la planificación, al igual que al analizar el valor del coeficiente de determinación, el cual tiene un valor muy cercano a 1.

**Figura 17**

*Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 8: San Juan de Calderón Alto*



**Tabla 20***Resultados del Proyecto 8: San Juan de Calderón Alto*

<b>DURACIÓN (MESES)</b>	<b>EV</b>	<b>PV</b>	<b>SV</b>	<b>SPI</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
0	0.00	0.00	0.00	-	0.00	
1	22414.79	8009.7	14405.09	2.80	16947.32	
2	103708.29	29271.15	74437.14	3.54	60918.09	
3	185651.61	56864.45	128787.16	3.26	132172.69	
4	225356.79	101895.17	123461.62	2.21	208854.68	0.9831
5	307838.93	153672.21	154166.72	2.00	281399.34	
6	338787.45	219379.13	119408.32	1.54	338107.44	
7	375065.98	296062.69	79003.29	1.27	381735.09	
8	409885.01	376804.52	33080.49	1.09	409885.01	

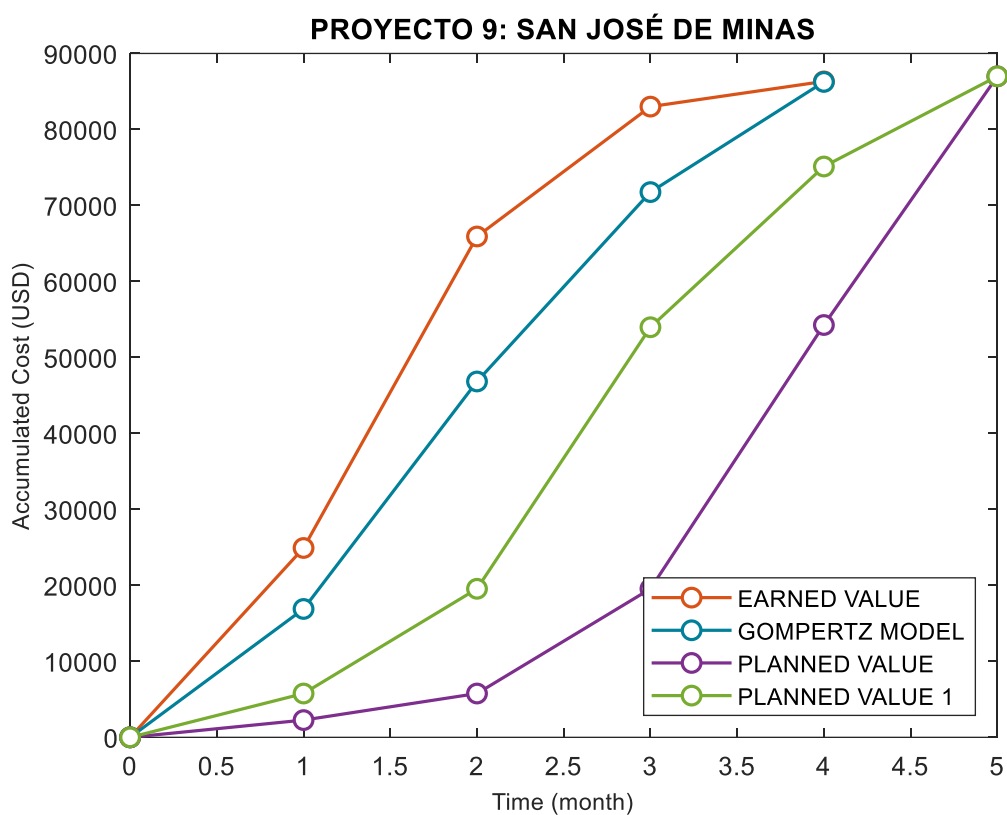
Analizando el índice de desempeño del proyecto y la variación del cronograma se concluye que el proyecto estaba adelantado durante todo su desarrollo.

### 5.1.9 Proyecto 9: Agua Potable San José de Minas (Proyecto con Reprogramación)

En este proyecto se observa una mala estimación en la planificación, en ambas curvas (“Planned Value” y “Planned Value 1”) se puede evidenciar que al principio se ubican montos muy pequeños que obligarían al proyecto a que en su transcurso se tengan una mayor carga de actividades. Sin embargo, se culminó el proyecto antes de lo planificado. De igual manera, el modelo presenta un valor del coeficiente de determinación alto por lo que se considera como una estimación satisfactoria.

**Figura 18**

*Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 9: San José de Minas*



**Tabla 21***Resultados del Proyecto 9: San José de Minas*

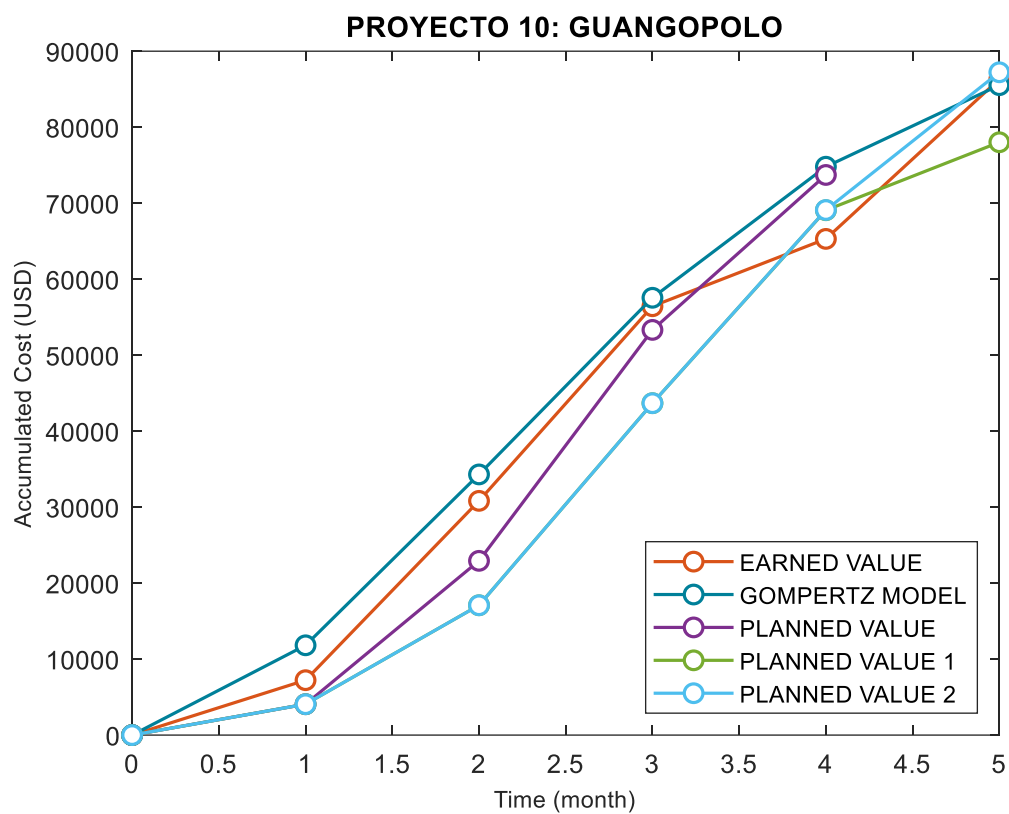
<b>DURACIÓN (MESES)</b>	<b>EV</b>	<b>PV</b>	<b>SV</b>	<b>SPI</b>	<b>PV 1</b>	<b>SV 1</b>	<b>SPI 1</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
0	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	
1	24919.88	2268.45	22651.43	10.99	5765.48	19154.40	4.32	16906.00	
2	65912.10	5765.48	60146.62	11.43	19548.97	46363.13	3.37	46863.49	
3	83002.98	19549.40	63453.58	4.25	53965.68	29037.30	1.54	71803.55	0.9556
4	86317.57	54262.8	32054.77	1.59	75119.46	11198.11	1.15	86317.57	
5		86988.1	-86988.10		86988.14	-86988.14			

### 5.1.10 Proyecto 10: Agua Potable Guangopolo (Proyecto con Reprogramaciones)

Este proyecto se realizó en un plazo de 5 meses, se considera que la planificación fue buena, aunque en el mes 4 se pudo haber mejorado el desarrollo de actividades para distribuirlas de manera óptima. De igual forma, el coeficiente de determinación es alto, como indica la figura 19, el comportamiento del proyecto es muy similar al modelo de Gompertz.

**Figura 19**

*Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 10: Guangopolo*



**Tabla 22***Resultados del Proyecto 10: Guangopolo*

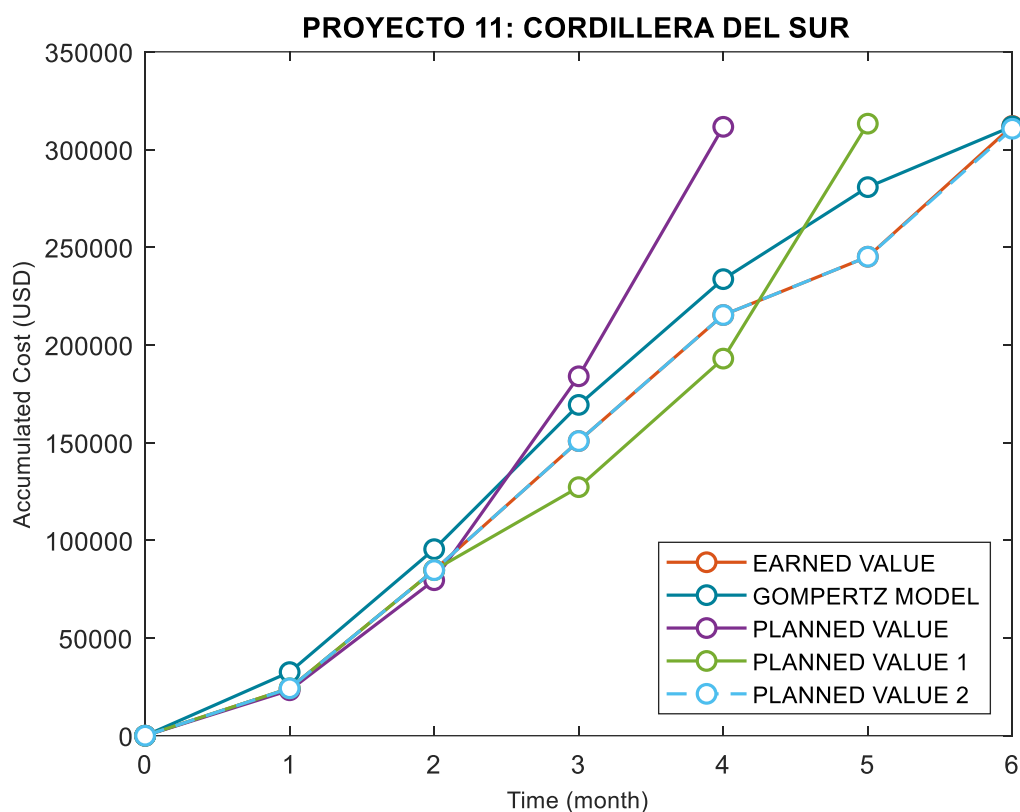
<b>DURACIÓN (MESES)</b>	<b>EV</b>	<b>PV</b>	<b>SV</b>	<b>SPI</b>	<b>PV 1</b>	<b>SV 1</b>	<b>SPI 1</b>	<b>PV 2</b>	<b>SV 2</b>	<b>SPI 2</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
0	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	
1	7163.72	4064.14	3099.58	1.76	4064.14	3099.58	1.76	4064.14	3099.58	1.76	11824.64	
2	30563.49	22930.68	7632.81	1.33	17084.66	13478.83	1.79	17084.66	13478.83	1.79	34327.13	
3	55957.45	53322.54	2634.91	1.05	43677.14	12280.31	1.28	43677.14	12280.31	1.28	57591.49	0.9879
4	64747.34	73712.72	-8965.38	0.88	69069.03	-4321.69	0.94	69099.7	-4352.36	0.94	74849.69	
5	85588.03		85588.03		78016.62	7571.41	1.10	87223.64	-1635.61	1.10	85588.03	

**5.1.11 Proyecto 11: Agua Potable Cordillera del Sur, Jardines de Occidentes, Marcelo Ruales, el Sol y Otros Sectores. (Proyecto con Reprogramaciones)**

En este proyecto se realizaron varias reprogramaciones, las primeras dos estimaron un plazo que no se pudo cumplir, sin embargo, el monto fue el mismo. Finalmente, el plazo fue de 6 meses, en este ejemplo también es evidente como el modelo de Gompertz es muy cercano a como se comportó el monto acumulado planillado.

**Figura 20**

*Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 11: Cordillera del Sur*



**Tabla 23***Resultados del Proyecto 11: Cordillera del Sur*

DURACIÓN (MESES)	EV	PV	SV	SPI	PV 1	SV 1	SPI 1	PV 2	SV 2	SPI 2	GOMPERTZ	R <sup>2</sup>
0	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	
1	24278.56	23258.67	1019.89	1.04	24270.95	1019.89	1.00	24270.95	7.61	1.00	32578.09	
2	84725.33	79584.06	5141.27	1.06	84735.55	5141.27	1.00	84735.55	-10.22	1.00	95530.36	
3	150789.24	183945.3	-33156.03	0.82	127211.6	-33156.03	1.19	150801.7	-12.46	1.19	169425.51	0.9907
4	215292.83	311616.6	-96323.75	0.69	192989.99	-96323.75	1.12	215300.2	-7.37	1.12	233826.43	
5	245126.13		245126.13		313217.26	245126.13	0.78	245132.8	-6.67	0.78	280938.87	
6	312063.82		312063.82			312063.82		310625.7	1438.12		312063.82	

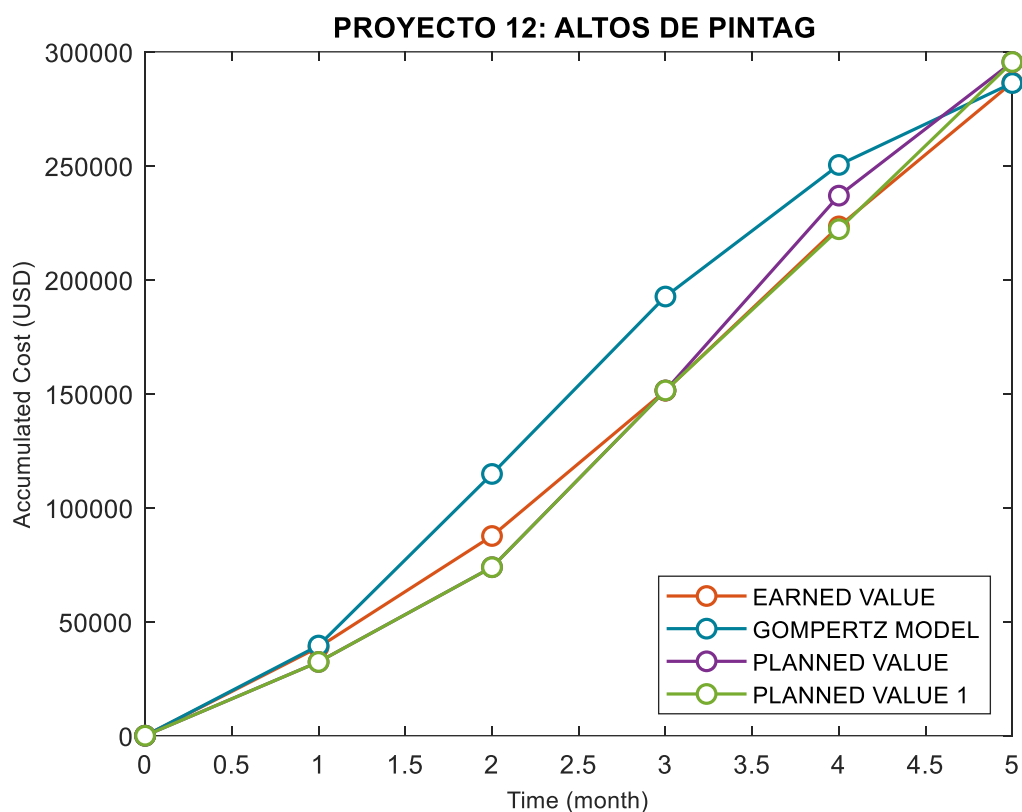
El coeficiente de determinación indica que el modelo de Gompertz realizó una muy buena estimación casi llegando 1. Si se hubiera tomado al modelo como referencia para la planificación, entonces no se requeriría tal cantidad de reprogramaciones que consumen tiempo y recursos.

### 5.1.12 Proyecto 12: Agua Potable Altos Pintag (Proyecto con Reprogramación)

En este proyecto se puede visualizar que en la planificación se dejaron muchas actividades para el final, esto puede ser de alto riesgo dado que si por alguna razón existiese un imprevisto ya no se lograría cumplir el plazo planificado, por eso el modelo de Gompertz presenta un comportamiento de menor crecimiento al inicio y al final. Sin embargo, se logró completar el proyecto en el plazo de 5 meses como indica la figura 21.

**Figura 21**

*Modelo de Gompertz Aplicado al Proyecto 12: Altos de Pintag*



**Tabla 24***Resultados del Proyecto 12: Altos de Pintag*

<b>DURACIÓN (MESES)</b>	<b>EV</b>	<b>PV</b>	<b>SV</b>	<b>SPI</b>	<b>PV 1</b>	<b>SV 1</b>	<b>SPI 1</b>	<b>GOMPERTZ</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
0	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	
1	38820.13	32358.94	6461.19	1.20	32358.94	6461.19	1.20	39581.52	
2	87610.29	73923.25	13687.04	1.19	73923.25	13687.04	1.19	114905.83	
3	151355.51	151448.94	-93.43	1.00	151448.94	-93.43	1.00	192780.42	0.9763
4	223409.11	236909.25	-13500.14	0.94	222179.89	1229.22	1.01	250550.11	
5	286495.39	295529.37	-9033.98	0.97	295529.37	-9033.98	0.97	286495.39	

El coeficiente de determinación como en los proyectos anteriores se adapta bien a la tendencia del modelo.

## 5.2 Análisis de resultados

**Tabla 25**

*Coefficiente de Determinación para los Proyectos Analizados*

<i>PROYECTO</i>	<i>R<sup>2</sup></i>
PROYECTO 1: CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE AGUA POTABLE EN MINDO	0.90
PROYECTO 2: RED DE AGUA POTABLE PARA PARROQUIA GUALEA	0.98
PROYECTO 3: AGUA POTABLE SAN ISIDRO DE GUAMANÍ	0.94
PROYECTO 4: RED DE AGUA POTABLE PARA EL BARRIO YURAC ALPALOMA	0.98
PROYECTO 5: EXTENSIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE PARROQUIAS DE SAN ANTONIO DE PICHINCHA, CALACALÍ Y POMASQUI (TANLAHUA)	0.99
PROYECTO 6: CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA PARROQUIA MALCHINGUI (PEDRO VICENTE MALDONADO)	0.95
PROYECTO 7: CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE AGUA POTABLE EN PATAGUA	0.99
PROYECTO 8: REDES DE AGUA POTABLE SAN JUAN DE CALDERÓN ALTO	0.98
PROYECTO 9: AGUA POTABLE SAN JOSÉ DE MINAS (PROYECTO CON REPROGRAMACIÓN)	0.96
PROYECTO 10: AGUA POTABLE GUANGOPOLO (PROYECTO CON REPROGRAMACIONES)	0.99
PROYECTO 11: AGUA POTABLE CORDILLERA DEL SUR, JARDINES DE OCCIDENTES, MARCELO RUALES, EL SOL Y OTROS SECTORES.	0.99
PROYECTO 12: AGUA POTABLE ALTOS PINTAG (PROYECTO CON REPROGRAMACIÓN)	0.98
<b>PROMEDIO (R<sup>2</sup>)</b>	<b>0.97</b>
<b>PROMEDIO (R)</b>	<b>0.98</b>

Como se visualiza en la tabla, los proyectos aplicando el modelo de Gompertz tienen un coeficiente de determinación entre los valores de 0.90 y 0.99, este es un resultado satisfactorio porque interpretando sus valores, la tendencia de la curva está bien representada, lo cual permite su uso en estimaciones para futuros proyectos de agua potable. Contrastando estos resultados con los del modelo Logístico que van de 0.89 a 0.97 se puede concluir que el modelo de Gompertz tiene una mejor estimación que el Logístico, aunque la diferencia es muy pequeña, por lo tanto, ambos modelos tienen un comportamiento deseado a la hora de permitir la estimación del cronograma de los proyectos de este tipo.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- Se elaboró el patrón de curvas “S” para la planeación de la construcción de sistemas de agua potable mediante el modelo de Gompertz usando el sistema de cómputo numérico MATLAB en la provincia de Pichincha-Ecuador cuya ecuación es la siguiente:

$$P(t) = 1.0293 * (1.144 e^{-3.837 e^{-3.323(t)}} - 1.144 e^{-3.837})$$

- Se analizaron los avances de obra en proyectos de agua potable finalizados en la provincia de Pichincha y se encontró que el 30% de los proyectos se completaron según lo planeado, mientras que el 54% de los proyectos experimentaron retrasos y el 15% terminaron antes de lo previsto. Además, se identificaron cuatro proyectos que requirieron reprogramación debido a una estimación incorrecta del valor planeado, lo que resultó en un mayor tiempo de ejecución.
- Se compararon las curvas "S" obtenidas utilizando el modelo de Gompertz y el modelo Logístico, y se encontró que ambos presentan resultados muy similares. Sin embargo, el modelo de Gompertz mostró un coeficiente de determinación más alto, lo que indica un mejor ajuste al comportamiento de la curva del valor ganado (EV).
- Al alimentar el modelo con proyectos de estos últimos años se halló que el coeficiente de determinación aumentaba, por lo tanto, mientras mayores datos tenga la curva su comportamiento será más preciso, así es como se comprobó el modelo con proyectos en el periodo 2018-2022 de agua potable en la provincia de Pichincha.

### 6.2 Recomendaciones

- Se recomienda para hallar la curva que solo se usen proyectos con cinco pares de datos o más porque puede generar distorsión en el modelo.

- El uso del modelo de Gompertz, encuentra de manera satisfactoria una curva para planear el cronograma de un proyecto por lo tanto se recomienda su uso debido a su forma en la que empieza con un crecimiento lento, luego aumenta y vuelve a disminuir muy similar a el comportamiento que debe tener un proyecto.
- Se recomienda el modelo de Gompertz sobre el modelo Logístico en proyectos de agua potable porque la ecuación es mucho más sencilla y su comportamiento es más preciso.
- Es recomendado el uso de software para implementar modelos matemáticos a los proyectos dado que los resultados son exactos y las herramientas permiten hallar los parámetros de manera fácil y rápida.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, S., Ávalos, A. F., Giraldo, D. P., Quintero, S., Zartha, J. W., & Cortés, F. B. (2012). La Curva en S como Herramienta para la Medición de los Ciclos de Vida de Productos. *Journal of Technology Management & Innovation*, 7(1), 238–248.  
<https://doi.puce.elogim.com/10.4067/S0718-27242012000100016>
- Ambriz Avelar, R. (2008). La gestión del valor ganado y su aplicación: Managing earned value and its application. Paper presented at PMI® Global Congress 2008—Latin America, São Paulo, Brazil. Newtown Square, PA: Project Management Institute.  
<https://www.pmi.org/learning/library/es-las-mejores-practicas-de-gestion-del-valor-ganado-7045#>
- Alvarado, L. (s.f.). *Gestión del Valor Ganado*.
- Argüello, O. (2020). *Elaboración de Curvas S Patrón y su Aplicación al Método de Gestión del Valor Ganado, en la Planeación de Proyectos de Construcción de Viviendas Unifamiliares en la Región Central Sierra desde la Provincia de Tungurahua hasta la Provincia de Imbabura* (Tesis de Grado). Pontifica Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Arrollo, J. (2020). Modelo de Gompertz. Capítulo V: *Modelos Unidimensionales (Difusión)*.  
[https://frdelpino.es/investigacion/wp-content/uploads/2020/02/EC013-00-05-Capitulo\\_05.pdf](https://frdelpino.es/investigacion/wp-content/uploads/2020/02/EC013-00-05-Capitulo_05.pdf)
- Carollo, C. (2012). *Departamento de Estadística e Investigación Operativa: Regresión Lineal Simple*. [http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat\\_50140116\\_Regr\\_%20simple\\_2011\\_12.pdf](http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_50140116_Regr_%20simple_2011_12.pdf)

- Cioffi, D. (2005). A Tool for Managing Projects: An Analytic Parameterization of the S-Curve. *International Journal of Project Management*, vol (23), 215-222.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.08.001>
- Corcho, F., & Duque, J. (2005). *Acueductos teoría y diseño*. Medellín: Universidad de Medellín
- Granja, K. (2019). *Elaboración de Curvas "S" Patrón para la Planeación de Construcción de Agua Potable (Curvas de Inversión) en la Provincia de Pichincha* (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2021). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales* [Presentación en PDF]. Recuperado de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Municipios\\_2021/Agua\\_potable\\_alcantarillado\\_2021/PRESENTACION%20APA%202021\\_V7%20%28Rev.%20Dicos%29.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2021/Agua_potable_alcantarillado_2021/PRESENTACION%20APA%202021_V7%20%28Rev.%20Dicos%29.pdf)
- Kuchararavy, D., Guio, R. (2011). Application of S-shaped Curves. *Engineering Procedia*, vol (9), 559-572. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.03.142>
- López, J. A., Aguirre, J. L. B., Carrera, F., & Merino, E. S. G. (2019). Modelo logístico para aproximar curvas s de planeación de proyectos de alcantarillado. *Gaceta Técnica*, 20(2), 35–50. <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.22509.33769>
- Mattos, A. & Valderrama, F. (2014). *Métodos de Planificación y Control de Obras*. Reverté.
- Nannini, G., Warburton, R. D. H. and De Marco, A. (2017). Improving the accuracy of project estimates at completion using the Gompertz function. *International Research Network on Organizing by Projects (IRNOP) 2017*, UTS ePRESS, Sydney: NSW, pp. 1-15.  
<https://doi.org/10.5130/pmrp.irnop2017.5670>

Narbaev, T., De Marco, A. (2013). An Earned Schedule-based regression model to improve cost estimate at completion, *International Journal of Project Management*.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.12.005>

Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Agua Limpia y Saneamiento*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

Project Management Institute. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*.

Newtown Square, Pennsylvania: PMBOK Guide. (6 ed.).

Ramírez-Valverde, G., & Ramírez-Valverde, B. (2021). *Modelo estadístico para defunciones y casos positivos de covid-19 en México*. *EconoQuantum*, 18(1), 1–20.

<https://doi.puce.elogim.com/10.18381/eq.v18i1.7223>

Real Academia Española. (2023). Patrón. En *Diccionario de la lengua española*. Recuperado de

<https://dle.rae.es/patr%C3%B3n?m=form>

Servicio Nacional de Contratación Pública [SERCOP]. (2017). *Información del Proceso de Contratación*. Sistema Oficial de Contratación Pública.

<https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/pregunta.cpe?id=yGSRWKf2Jn-Hy7G2c9Zl5DoqX5AAJxCTaJvuW2nSHdI>

Trapote, A. (2017). *Infraestructuras Hidráulico-Sanitarias I. Abastecimiento y distribución de agua*. San Vicente del Raspeig: Unión de Editoriales Universitarias Españolas

## 8. ANEXOS

### Anexo 1: Datos de Entrada del Modelo de Gompertz

T	EV
0	0
0.07	0.03
0.08	0.14
0.09	0.05
0.14	0.00
0.14	0.07
0.17	0.04
0.17	0.17
0.17	0.02
0.17	0.22
0.20	0.16
0.21	0.25
0.25	0.33
0.29	0.18
0.29	0.19
0.33	0.32
0.33	0.49
0.33	0.13
0.33	0.42
0.34	0.45
0.36	0.36
0.40	0.33
0.42	0.48
0.43	0.33
0.43	0.52
0.48	0.55
0.50	0.55
0.50	0.68
0.50	0.36
0.50	0.64
0.57	0.53
0.57	0.74
0.58	0.76
0.60	0.43
0.61	0.75
0.64	0.83
0.67	0.80
0.67	0.68

0.67	0.61
0.67	0.82
0.71	0.63
0.71	0.97
0.74	0.83
0.75	0.86
0.80	0.76
0.83	0.96
0.83	0.99
0.83	0.98
0.83	0.90
0.86	0.78
0.86	0.98
0.88	0.92
0.92	0.94
1	1

## Anexo 2: Código de Matlab

### PROYECTO 1: MINDO

```
fprintf('PROYECTO 1: MINDO');

%Data information:
[data,text,alldata]=xlsread('Mind0 P1.xlsx','A1:Z100');

t1=data(4:length(data),1);
c1=data(1,1);
var1=(data(4:length(data),2))*c1;

pv=(data(4:length(data)-2,3)); %Restar los datos faltantes
[R1,T1,x1,lx1] = MGompyLog(t1,var1,c1);
tpv=T1(1:length(pv));

plot(T1,var1,'-o',"LineWidth",1.2,'MarkerSize',7,"Color",[0.8500 0.3250
0.0980],"MarkerEdgeColor",[0.8500 0.3250 0.0980],"MarkerFaceColor",'w')
hold on
ax = gca;
ax.YAxis.Exponent = 0;
```

```

plot(T1,x1,'-o',"LineWidth",1.2,'MarkerSize',7,"Color",[0 0.5
0.6],"MarkerEdgeColor",[0 0.5 0.6],"MarkerFaceColor",'w')
plot(tpv,pv,'-o',"LineWidth",1.2,'MarkerSize',7,"Color",[0.4940 0.1840
0.5560],"MarkerEdgeColor",[0.4940 0.1840 0.5560],"MarkerFaceColor",'w')
%plot(T1,lx1,'-o',"LineWidth",1.2,'MarkerSize',7,"Color",[0.4940 0.1840
0.5560],"MarkerEdgeColor",[0.4940 0.1840 0.5560],"MarkerFaceColor",'w')
title('PROJECT I: MINDO')
legend('EARNED VALUE','GOMPERTZ MODEL','PLANNED VALUE','Location','SouthEast')
xlabel('Time (month)','FontSize',9);
ylabel('Accumulated Cost (USD)','FontSize',9);
hold off

%TABLA DE RESULTADOS
aux=R1.*ones(length(t1),1);
pvN=(data(4:length(data),3));
SPI=var1./pvN;
EX=table (T1,var1,pvN,SPI,x1,aux)
writetable(EX,'RESUMEN.xlsx','Sheet',1,'Range','B3')
print -dmeta

```

## Funciones de Gompertz y Logística:

```

function [R2,T,x,lx] = MGompyLog(t1,var1,c1)
    for j=1:length(t1)
        D=1/(1.144*exp(-3.837*exp(-3.323*t1))-1.144*exp(-3.837));
        x(j,1)=D*(1.144*exp(-3.837*exp(-3.323*t1(j,1)))-1.144*exp(-3.837))*c1;
        lx(j,1)=(1.064519*(exp(6.931472*t1(j,1))/(exp(3.475492)+exp(6.931472*t1(j,1)))-1/(exp(3.475492)+1)))*c1;
        T(j,1)=j-1; %Contador
        j=j+1;
    end

    %Coeficiente de Determinación
    mdl = fitlm(var1,x);
    mdl.Rsquared.Ordinary;
    %R2=[num2str(mdl.Rsquared.Ordinary),' con Gompertz'];
    R2=[mdl.Rsquared.Ordinary];
    table(t1,T,var1,x,lx);

end

```