

# **ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA DEMORA EN PARADA EN CONDICIONES METEOROLÓGICAS ADVERSAS**

**Margarita Novales Ordax**

Universidade da Coruña, Grupo de Ferrocarriles y Transportes, ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

**Alfonso Orro Arcay**

Universidade da Coruña, Grupo de Ferrocarriles y Transportes, ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

**Jose-Benito Perez-Lopez**

Universidade da Coruña, Grupo de Ferrocarriles y Transportes, Facultad de Economía y Empresa

**Jorge Feal García**

Universidade da Coruña, Grupo de Ferrocarriles y Transportes, ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

**Miguel Rodríguez Bugarín**

Universidade da Coruña, Grupo de Ferrocarriles y Transportes, ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

## **RESUMEN**

El Bus Lost Time (BLT) o tiempo perdido por el autobús se define como el tiempo transcurrido desde que el autobús abre las puertas hasta que embarca la primera persona. Este concepto se incluye en la tercera edición del Transit Capacity and Quality of Service Manual para estaciones de autobús semirrápido (Bus Rapid Transit, BRT) con tres zonas de detención, pero no se considera para paradas de autobús regular en ningún caso.

En esta ponencia se presentan valores de BLT para paradas de autobús convencional, mostrando la influencia que la lluvia tiene en este parámetro. En concreto, se mostrará que los aumentos de BLT por efecto de la lluvia son mayores que los que se producen para tiempo seco cuando se utiliza la segunda posición de detención en una parada doble.

Los datos utilizados se han tomado mediante medidas realizadas por una persona in situ, distinguiendo diferentes niveles de intensidad de lluvia fácilmente identificables a través del comportamiento de los viandantes. Se ha realizado un tratamiento estadístico de los datos para determinar el ajuste a distribuciones estadísticas estándar (normal y lognormal) así como para confirmar que las diferencias obtenidas en los valores de BLT son significativas.

## 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El conocimiento de los tiempos de operación de autobuses urbanos es una herramienta necesaria para el operador y el planificador. Este conocimiento es preciso para la organización de los horarios tratando de garantizar el cumplimiento de los intervalos en las diferentes condiciones, así como para el estudio de nuevas líneas o modificaciones en las existentes. Uno de los aspectos que va a influir en el funcionamiento del sistema son las condiciones meteorológicas y, en concreto, la existencia de lluvia.

Uno de los componentes del tiempo de operación es la demora en la parada (Dwell Time, DT). En este estudio se pretende determinar la influencia de la lluvia en la demora en parada de los autobuses urbanos convencionales.

El estudio de la demora de los autobuses en las paradas puede remontarse a Muzyka (1974), quien utilizó su distribución con el objeto de realizar simulaciones. Posteriormente, en 1980, se realizó una campaña de medidas de demoras en parada en EE. UU. (Levinson, 1983). Para una revisión de las primeras medidas de la demora en parada se puede consultar Dueker (2004).

El concepto de tiempo de demora se define en la segunda edición del Transit Capacity and Quality of Service Manual (Transportation Research Board, 2003) como: “el tiempo necesario para servir a los pasajeros en la puerta más cargada, más el tiempo necesario para la apertura y cierre de puertas”, de acuerdo con la Ecuación 1:

$$t_d = P_a t_a + P_b t_b + t_{oc} \quad (1)$$

donde:

- $t_d$ =tiempo de demora medio (s);
- $P_a$  = número de pasajeros desembarcando del autobús por la puerta más cargada (s);
- $t_a$ =tiempo de servicio de los pasajeros que desembarcan (s/p);
- $P_b$  = número de pasajeros embarcando al autobús por la puerta más cargada (s);
- $t_b$ =tiempo de servicio de los pasajeros que embarcan (s/p); y
- $t_{oc}$  = tiempo de apertura y cierre de puertas (s);

A los tiempos reflejados en la ecuación anterior se les puede añadir un tiempo adicional, que es el tiempo de espera del autobús entre el momento en que el autobús se detiene en su punto de parada y el momento en que la primera persona embarca. Este tiempo fue definido por Jaiswal (2010) y Jaiswal et al. (2010) como “tiempo perdido por el autobús” (Bus Lost Time, BLT). Los valores medios de BLT que obtuvieron, para una estación de un sistema de autobús semirrápido (Bus Rapid Transit, BRT) con tres zonas de detención, fueron de 4.3,

3.1 y 5.2 s para las zonas de detención 1, 2 y 3 respectivamente, mientras que los valores del percentil 85 fueron 7.2, 4.5 y 8.7 s.

Estos estudios condujeron a una modificación en la formulación de la demora en parada (DT) en la tercera edición del Transit Capacity and Quality of Service Manual (Transportation Research Board, 2013), pero únicamente para estaciones de sistemas de autobús semirrápido (BRT), objeto de los citados estudios. En este caso se consideró el término “Boarding Lost Time” (tiempo perdido en el embarque), definiéndolo como el tiempo transcurrido mientras los pasajeros caminan hasta la(s) puerta(s) del autobús desde sus posiciones de espera en la parada. La formulación de DT cambió a:

$$t_d = t_{pf,max} + t_{oc} + t_{bl} \quad (2)$$

donde:

- $t_d$  = tiempo de demora medio (s);
- $t_{pf,max}$  = máximo tiempo de flujo de pasajeros de todos los canales de puerta (s);
- $t_{oc}$  = tiempo de apertura y cierre de puertas (s), con valores típicos de 2-5 s; y
- $t_{bl}$  = tiempo perdido en el embarque (s);

El valor de BLT se establece como 0 s en el caso de paradas con una única zona de detención. Para tres zonas de detención se propone un valor que varía entre 4.0 y 4.5 s para condiciones de mayor o menor congestión en la zona de espera de la parada. Finalmente, para estaciones de BRT con dos zonas de detención, el analista debe evaluar la frecuencia de utilización de la segunda zona de detención para determinar un valor entre 0 y 4 s (Transportation Research Board, 2013).

Finalmente, Kathuria et al. (2016a y 2016b) hacen hincapié en el hecho de que el BLT solo se debe considerar cuando no se solapa con la fase de desembarque, produciendo por tanto un aumento en el DT. En sus investigaciones determinaron los escenarios de embarque y desembarque en los que se debe considerar el BLT. Estudiaron el BLT para una estación de BRT con dos zonas de detención, obteniendo valores medios de 1.8 y 2.4 s para la primera y segunda zona de detención, con percentiles 85 de 2.1 y 2.7 s respectivamente (Kathuria et al., 2016a). La lluvia no era una variable relevante ni en estos estudios ni en los de Jaiswal (2010) y Jaiswal et al. (2010), por tratarse de estaciones cerradas o cubiertas completamente con marquesinas.

En Novales et al. (2021), se ha analizado el incremento del BLT debido a la lluvia en un caso de estudio de autobús convencional en A Coruña, considerando únicamente el valor del BLT. En esta ponencia se presenta un análisis análogo de ese caso de estudio, pero empleando como variable de análisis conjuntamente el BLT y el tiempo de apertura y cierre

de puertas, tratando así de establecer qué medida es más adecuada de cara a su medición en campo y su incorporación a los cálculos de demora en parada.

En esta ponencia se analizan por tanto los valores de BLT, incluyendo apertura y cierre de puerta, para una parada de autobús regular en bahía con dos zonas de detención. Se considera de forma explícita el efecto de la lluvia, ya que se ha observado que afecta notablemente al comportamiento de los viajeros que esperan en la parada. En ausencia de precipitación los viajeros pueden esperar fuera de la marquesina y se empiezan a mover hacia el punto esperado de detención cuando observan que el autobús se acerca. En situaciones de lluvia, especialmente si es intensa, tienden a esperar bajo la marquesina hasta conocer el punto exacto de detención. Esto va a suponer una modificación del tiempo desde la detención del autobús hasta la subida del primer viajero, objeto de esta ponencia.

Para una revisión de la influencia de la lluvia en el comportamiento del viajero se puede consultar Liu (2017). El Transit Capacity and Quality of Service Manual (Transportation Research Board, 2013) señala que el porcentaje de circulación puntual puede caer por debajo del 80% durante condiciones de mal tiempo y que la meteorología influye en la velocidad de los peatones.

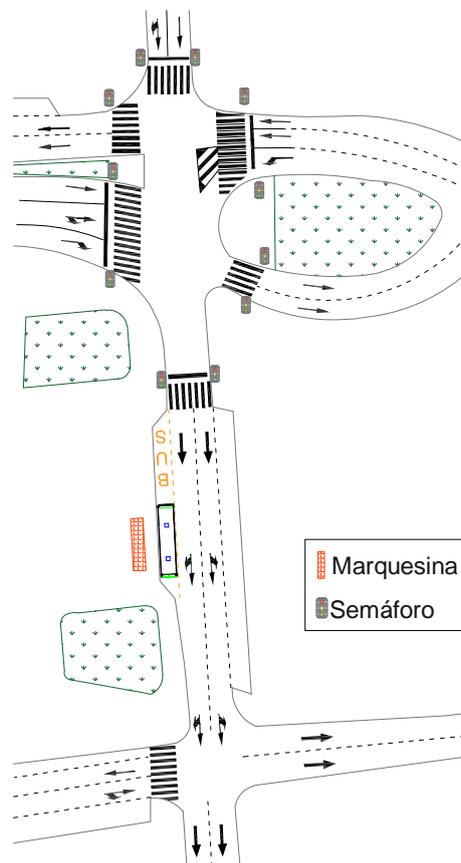
Esta ponencia está organizada como sigue: el apartado 2 presenta el caso de estudio y procedimiento de toma de datos; en el apartado 3 se realiza el análisis de la influencia de la lluvia en el parámetro analizado, en el apartado 4 se realiza un análisis de ajuste a distribuciones estadísticas estándar; finalmente, en el apartado 5 se presentan las conclusiones del estudio.

## **2. CASO DE ESTUDIO Y RECOGIDA DE DATOS**

Tras un análisis de las condiciones requeridas, se seleccionó para la toma de datos una parada situada en frente a la iglesia de San Pedro de Mezonzo en la ciudad de A Coruña. Su configuración general se presenta en las figuras 1 y 2. Se trata de una parada en bahía situada tras una intersección en una calle de sentido único, con prioridad en la siguiente intersección. Los autobuses circulan en tráfico mixto sin ningún tipo de preferencia. Existe espacio para la detención de dos autobuses, siendo la longitud total de la zona de detención de 25 m. En esta parada la marquesina está situada a 3 m del borde del bordillo y adyacente a la primera zona de parada de los autobuses, hecho que va a tener influencia en el BLT, ya que se debe recorrer cierta distancia hasta la puerta del autobús bajo la lluvia.



**Figura 1: Parada de San Pedro de Mezonzo. Fotografía de la configuración general**



**Figura 2: Parada de San Pedro de Mezonzo. Plano de la configuración general**

La parada es servida por 6 de las líneas de la red, incluyendo la línea que presta el servicio específico a la Universidad (UDC), esta última con importantes variaciones en el servicio fuera de los días lectivos y según el horario. En la Tabla 1 se muestran los intervalos habituales programados y las consiguientes frecuencias de las líneas durante la campaña de toma de datos. En conjunto pasan por la parada en hora punta 27.8 autobuses/hora con un

intervalo medio de 2.2 minutos, lo que supone que sea frecuente la utilización de la segunda posición de detención. En hora punta hay un refuerzo de la línea UDC que parte de esta parada. El número total de autobuses que emplearon la parada en 2019 fue de 126573.

Línea	Intervalo en día lectivo (min)	Frecuencia (autobuses/hora)
4	12	5
5	18	3.3
12	24	2.5
20	20	3
24	30	2
UDC (hora punta)	5	12
UDC (hora valle)	10	6
TOTAL (hora punta)	2.2	27.8
TOTAL (hora valle)	3.6	16.8

**Tabla 1: Líneas, intervalos y frecuencias en la parada de San Pedro de Mezonzo**

Para este trabajo fue necesario realizar una toma de datos manual, dado que los datos registrados por el Sistema de Ayuda a la Explotación no recogen los movimientos de los viajeros antes de subirse al autobús, por lo que no permiten el análisis del BLT. Aunque se tomaron datos adicionales, en esta ponencia se presentarán los relativos a lo que los autores han llamado T3 (s), que es el tiempo transcurrido entre la detención del vehículo y el embarque del primer pasajero, considerándolo embarcado cuando sus dos pies están dentro del autobús. En contraste con el artículo citado previamente, no se ha distinguido el tiempo de apertura de puertas, ya que hay ocasiones en que el pasajero empieza a embarcar antes de que la puerta haya completado su apertura y las diferentes tecnologías de los modelos de autobuses dificultan el establecimiento unívoco de los tiempos totales de apertura de puertas.

Se tomaron los datos de un total de 734 autobuses en días laborables de junio de 2019, en diferentes horarios (en Novales et al., 2021 se pueden consultar más detalles sobre la toma de datos). Se ha verificado que no se producen disparidades en los valores de la media de T3 para los datos sin lluvia en función del día de la semana.

Se realizó una limpieza de los datos para eliminar los registros correspondientes a situaciones inusuales que no son consistentes con el fenómeno que se pretende estudiar, tales como detenciones del autobús previas a la posición de parada definitiva sin abrir puerta, aparcamiento ilegal en parada, incidencias inusuales que demoran el embarque, etc. Sin embargo, se mantuvieron registros correspondientes a otras circunstancias que aumentan la demora pero que se consideran parte del uso regular del sistema. Es el caso, por ejemplo, de pasajeros embarcando al autobús con un carrito de la compra o un objeto similar. Tras este proceso de depuración de datos se mantuvieron los registros correspondientes a 718 autobuses, que constituyen la muestra estudiada.

Para el registro de información sobre la intensidad de lluvia se optó también por la observación directa. Se estudiaron los datos de precipitación recogidos en las tres estaciones meteorológicas autonómicas de la ciudad, pero se descartó su utilización por estar situadas a más de 2 km de distancia de la parada de estudio. Los registros cada diez minutos de lluvia recogida no permiten estudiar el fenómeno de interés por dos motivos: en primer lugar, la lluvia es un fenómeno muy local, por lo que los registros de estaciones a 2 km de distancia no son representativos de la situación en la parada (se verificó que, en varias ocasiones, pese a estar lloviendo en la parada, las tres estaciones registraban niveles diezminutales nulos de precipitación); en segundo lugar, para este estudio, el intervalo en el que interesa conocer si existe o no precipitación dura solamente unos segundos, los que transcurren desde que el autobús se está aproximando a la parada hasta el embarque del primer viajero. Por tanto, si se pretendiese realizar un registro automatizado de lluvia, serían precisos equipos de medición locales capaces de registrar intensidades de precipitación en periodos extraordinariamente breves.

Para permitir esta recogida manual de datos de precipitación se optó por establecer una clasificación cualitativa, pero con una definición precisa basada en comportamientos de los viandantes que la hiciese extrapolable. En todo caso, la totalidad de la toma de datos se realizó por el mismo observador para evitar sesgos en esta recogida. Las categorías de lluvia definidas (Novales et al., 2021) fueron:

- 0 – sin lluvia;
- 1 – llovizna: es difícil determinar si llueve o no. La mayoría de las personas ni siquiera se molesta en abrir el paraguas;
- 2 – lluvia ligera: es indudable que llueve, pero los viandantes no se empapan. Algunas personas no se molestan en abrir el paraguas, aunque la mayoría sí lo hace.
- 3 – lluvia moderada: el nivel de lluvia es molesto, y las personas que no están a cubierto se empapan tras un corto período de tiempo. Las personas que tienen un paraguas disponible lo abren, y todas las que pueden ponerse a cubierto lo hacen.
- 4 – lluvia intensa: el nivel de lluvia es intenso, y las personas que no están a cubierto se empapan totalmente. La mayoría de los viandantes detienen su movimiento temporalmente para ponerse a cubierto y esperar a que la precipitación remita.

### **3. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA LLUVIA EN T3**

La estadística descriptiva de la muestra se presenta en la Tabla 2. El número de datos registrados para cada zona de detención fue de 576 para la primera y 142 para la segunda. El valor medio de la demora conjunta por apertura de puertas y BLT (T3) es de 3.84 s para la zona de detención 1 y 4.29 s para la 2. El valor máximo de T3 para la zona de detención 1 es de 8.68 s, pero los 5 valores por encima de 6.8 s para esta zona de detención corresponden a situaciones en las que el primer pasajero que embarcó portaba un carrito de la compra (u objeto similar). Para la segunda zona de detención, el valor máximo de T3 es

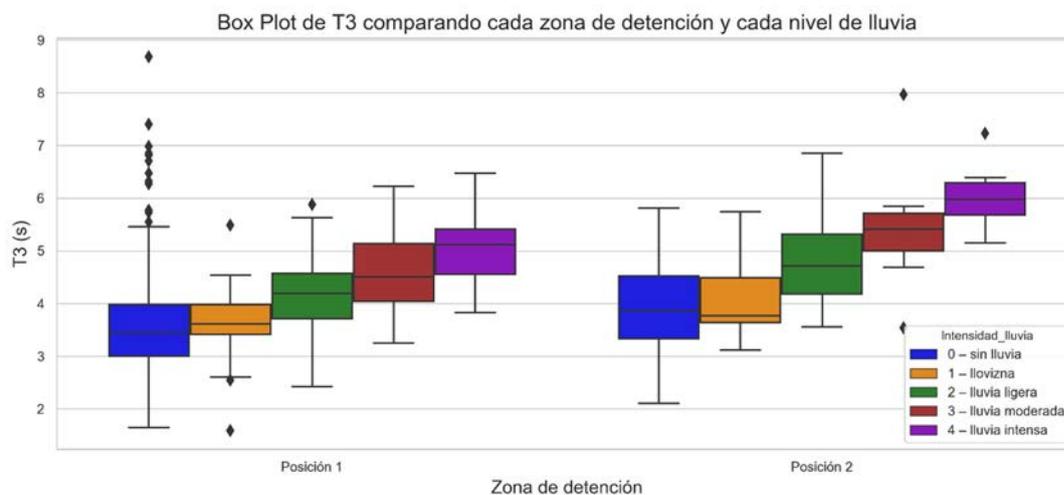
de 7.97 s, con solo 3 registros mayores de 6.8 s, cada uno de ellos correspondiente a situación de lluvia ligera, moderada o fuerte.

	T3 (s)	
	Zona de detención 1	Zona de detención 2
<b>count</b>	576	142
<b>mean</b>	3.84	4.29
<b>std</b>	0.93	1.09
<b>min</b>	1.59	2.11
<b>25%</b>	3.20	3.54
<b>50%</b>	3.72	4.18
<b>75%</b>	4.35	5.09
<b>max</b>	8.68	7.97

**Tabla 2: Estadística descriptiva de la muestra**

Para realizar un análisis de mayor detalle se ha optado por realizar distintas agrupaciones de datos. En la Tabla 3 se presenta la estadística descriptiva de T3 agrupando los datos por zona de detención e intensidad de lluvia. En la primera parte de la tabla se presentan todos los niveles de lluvia por separado, mientras que en la segunda parte se han creado diferentes agregaciones para ambas zonas de detención al objeto de preparar los datos para el análisis estadístico posterior. En la Figura 2 se presenta el box plot para T3 con los datos agrupados en función de la zona de detención y la intensidad de lluvia.

La muestra puede considerarse pequeña para el caso de la primera zona de detención en los niveles de lluvia 3 y 4, así como para la segunda posición con lluvia. En algunos de los análisis se emplean estos datos con propósito ilustrativo, mientras que en otras ocasiones se agrupan para tener muestras de mayor tamaño en cada una de las categorías analizadas.



**Figura 2: Box plot según zona de detención e intensidad de lluvia.**

Zona de detención	Intensidad de lluvia	count	mean	std	cv	min	25%	50%	75%	max
1	0 – sin lluvia	358	3.57	0.89	0.25	1.65	3.00	3.45	3.99	8.68
	1 – llovizna	50	3.65	0.58	0.16	1.59	3.43	3.62	3.99	5.49
	2 – lluvia ligera	90	4.14	0.69	0.17	2.43	3.72	4.20	4.57	5.88
	3 – lluvia moderada	43	4.59	0.70	0.15	3.26	4.04	4.51	5.15	6.23
	4 – lluvia intensa	35	5.09	0.69	0.14	3.83	4.56	5.12	5.42	6.48
2	0 – sin lluvia	93	3.90	0.88	0.22	2.11	3.33	3.86	4.53	5.81
	1 – llovizna	10	4.10	0.88	0.22	3.12	3.64	3.77	4.49	5.74
	2 – lluvia ligera	19	4.77	0.87	0.18	3.56	4.19	4.72	5.32	6.85
	3 – lluvia moderada	10	5.43	1.12	0.21	3.54	5.00	5.42	5.72	7.97
	4 – lluvia intensa	10	5.99	0.60	0.10	5.16	5.69	5.98	6.29	7.23
1	0 + 1 + 2 + 3 + 4 – cualquier situación	576	3.84	0.93	0.24	1.59	3.20	3.72	4.35	8.68
2	0 + 1 + 2 + 3 + 4 – cualquier situación	142	4.29	1.09	0.25	2.11	3.54	4.18	5.09	7.97
1	0 + 1 – sin lluvia (o imperceptible)	408	3.58	0.86	0.24	1.59	3.06	3.50	3.99	8.68
1	1 + 2 + 3 + 4 – cualquier lluvia	218	4.27	0.81	0.19	1.59	3.71	4.24	4.73	6.48
1	2 + 3 + 4 – lluvia perceptible	168	4.45	0.78	0.18	2.43	3.96	4.43	4.97	6.48
2	1 + 2 + 3 + 4 – cualquier lluvia	49	5.02	1.08	0.22	3.12	4.13	5.16	5.73	7.97

**Tabla 3: Estadística descriptiva de la muestra con datos agrupados por zona de detención e intensidad de lluvia**

Del análisis de la tabla y la figura se pueden extraer algunas conclusiones. Cada aumento en el nivel de lluvia produce un aumento de la media de T3 de alrededor de 0.5 s para la primera zona de detención, excepto para el caso “1 – llovizna”. El incremento del valor medio de T3 debido a una lluvia intensa, en relación a la situación sin lluvia (1.52 s), es apreciablemente mayor que el que se produce por el uso de la segunda zona de detención en relación con la primera en situación sin lluvia (0.33 s).

En la segunda parte de la tabla puede observarse que los valores medios de T3 aumentan en alrededor de 0.9 s para el caso de “lluvia perceptible” en relación al caso de “sin lluvia o imperceptible”, para la primera zona de parada. Los datos de desviaciones típicas y coeficientes de variación muestran que los registros de cada categoría no tienen una dispersión acusada.

La figura muestra con mayor claridad cómo aumenta T3 con la intensidad de lluvia para cada una de las zonas de detención, excepto para el caso de llovizna en la segunda zona de detención. Se observa que los valores de T3 son mayores para la segunda posición de detención respecto a la primera. Para comprobar si estas diferencias son significativas se han realizado contrastes estadísticos formales, que se muestran en la Tabla 4. Los test empleados suponen normalidad de los estimadores de la media y tienen en cuenta el test de igualdad de varianzas. Se comprueba que todas las diferencias de medias son significativas a excepción de las diferencias entre los niveles “0 – sin lluvia” y “1 – llovizna” para la primera posición de detención.

Comparación $\mu_1 > \mu_2$				Test igualdad varianzas 95% dos colas $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$	Test igualdad medias 95% una cola $H_0: \mu_1 = \mu_2$
Variable 1		Variable 2			
Posición	Intensidad de lluvia	Posición	Intensidad de lluvia		
2	0 – sin lluvia	1	0 – sin lluvia	Aceptar $H_0$	Rechazar $H_0$
1	1 – llovizna	1	0 – sin lluvia	Rechazar $H_0$	Aceptar $H_0$
	2 – lluvia ligera		1 – llovizna	Aceptar $H_0$	Rechazar $H_0$
	3 – lluvia moderada		2 – lluvia ligera	Aceptar $H_0$	Rechazar $H_0$
	4 – lluvia intensa		3 – lluvia moderada	Aceptar $H_0$	Rechazar $H_0$
1	1 + 2 + 3 + 4 – cualquier lluvia	1	0 – sin lluvia	Aceptar $H_0$	Rechazar $H_0$
1	2 – lluvia ligera	1	0 + 1 – sin lluvia (o imperceptible)	Rechazar $H_0$	Rechazar $H_0$
1	2 + 3 + 4 – lluvia perceptible	1	0 + 1 – sin lluvia (o imperceptible)	Aceptar $H_0$	Rechazar $H_0$
2	0 + 1 + 2 + 3 + 4 – cualquier situación	1	0 + 1 + 2 + 3 + 4 – cualquier situación	Rechazar $H_0$	Rechazar $H_0$
2	1 + 2 + 3 + 4 – cualquier lluvia	1	1 + 2 + 3 + 4 – cualquier lluvia	Rechazar $H_0$	Rechazar $H_0$

**Tabla 4: Diferencias de medias de T3 para diferentes niveles de lluvia y posición de detención**

Estos resultados respaldan la necesidad de considerar la influencia de la lluvia en T3, y por tanto en la demora en paradas, para calcular adecuadamente la capacidad de las paradas o para simular el funcionamiento del sistema de transporte público en estas situaciones. La diferencia de medias de T3 para cada uno de los niveles de lluvia perceptible es de alrededor de 0.5 s, dando lugar a una diferencia de alrededor de 1.5 s para el caso de lluvia intensa en comparación con la situación sin lluvia. Para un análisis binario de lluvia perceptible (2-4) frente a sin lluvia o imperceptible (0-1), la diferencia es de casi 0.9 s (0.87 s) para la posición de parada 1.

El valor medio de T3 para posición de parada 1 sin lluvia es de 3.57 s, lo que considerando un tiempo de apertura de puertas de alrededor de 1.66 s (valor obtenido en un número limitado de medidas con desviación típica 0.5 s) daría lugar a un valor medio de BLT de 1.91 s, muy similar al obtenido por Kathuria et al. (2016a) para su configuración (1.8 s). El uso de la segunda posición de detención da lugar a un aumento del valor medio de T3 (y por tanto de BLT) de 0.33 s con respecto a la primera posición para la situación sin lluvia, mientras que dicha diferencia era de 0.6 s en Kathuria et al. (2016a). Esta diferencia debida a la posición de detención es inferior a la influencia del aumento de un nivel de intensidad de lluvia.

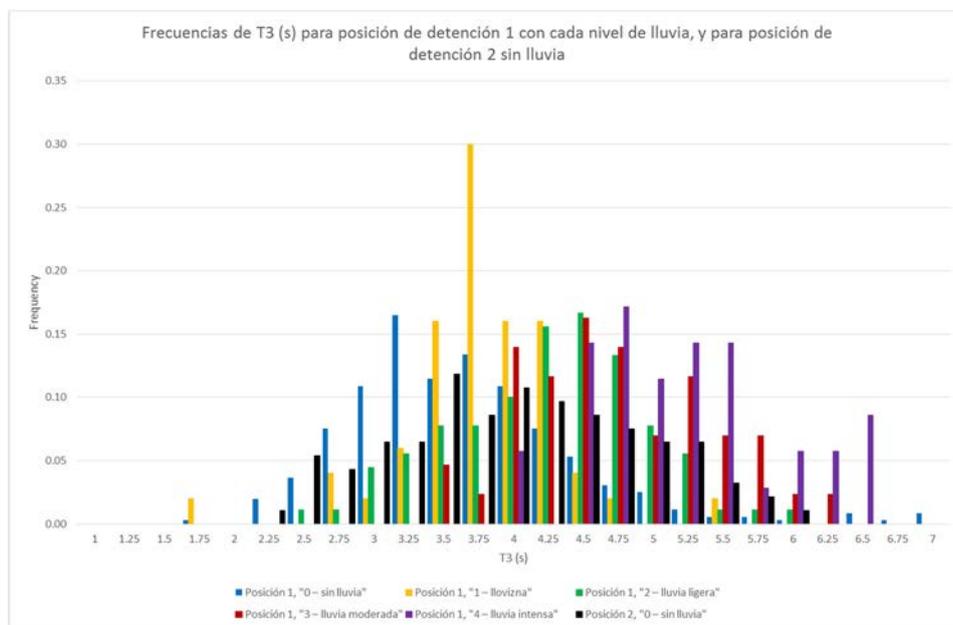
De acuerdo con el análisis realizado, se puede proponer un incremento de BLT de 0.5 s para cada uno de los saltos entre niveles sin lluvia – lluvia ligera – lluvia moderada – lluvia intensa para la posición de detención 1, y de 1 s si solamente se considera la diferenciación entre lluvia perceptible y situación sin lluvia o imperceptible. El uso de la segunda posición de detención (en lugar de la primera) para la situación sin lluvia puede dar lugar a un incremento de 0.3 s, mientras que el incremento para cualquier situación de lluvia (niveles 1 a 4

combinados) es de 0.7 s. Estos valores son válidos para configuraciones de parada similares a la estudiada en este trabajo.

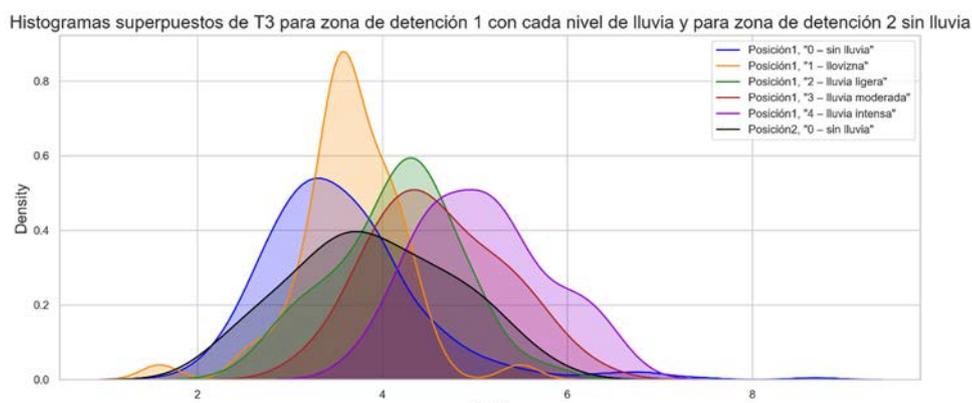
#### 4. ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE VALORES DE T3

En este apartado se realizará un análisis del ajuste de los datos de la muestra a distribuciones estadísticas estándar, y se presentarán conclusiones previas de otros autores.

La dispersión de los valores para cada nivel de precipitación y cada zona de detención se estudia mediante histogramas de frecuencias y estimación de densidades kernel (KDE). En la Figura 3 se muestra la frecuencia de observaciones para zona de detención 1 con cada nivel de lluvia y para zona de detención 2 sin lluvia. En la Figura 4 se presentan los histogramas con estimación de densidad kernel superpuestos para esos mismos casos.



**Figura 3: Frecuencia de observaciones para posición 1 con cada nivel de lluvia y para posición 2 sin Lluvia**



**Figura 4: Estimación de densidad kernel para posición 1 con cada nivel de lluvia y para posición 2 sin lluvia.**

Jaiswal et al. (2010) determinaron, mediante la utilización de gráficos de probabilidad, que el BLT sigue una distribución lognormal para cada una de las posiciones de detención analizadas. Widanapathirana et al. (2015) determinaron que el tiempo de demora total en las estaciones de BRT sigue también una distribución lognormal, aunque no presentan contrastes formales. Kathuria et al. (2016) analizaron la distribución de BLT para cuatro períodos del día utilizando tests Kolmogorov – Smirnov y Chi-Square, concluyendo que el BLT parece seguir una distribución lognormal para dichos períodos. Estos estudios de BLT no consideran la influencia de la lluvia, como se indicó en el apartado 1, por lo que cabe esperar que el BLT en condiciones de no lluvia siga también una distribución lognormal.

Los datos recogidos en esta investigación se han analizado para diferentes agregaciones de niveles de lluvia, como se muestra en la Tabla 5. Las muestras se comparan con distribuciones teóricas normales y lognormales. Estos análisis son útiles para determinar las características de las variables, y se han empleado para seleccionar los contrastes realizados en el apartado anterior para analizar la influencia de la lluvia en T3. En general, desde un punto de vista de análisis estadístico, la normalidad es una propiedad deseable porque simplifica la aplicación de ciertas técnicas de análisis. Sin embargo, la distribución normal da lugar a ciertos inconvenientes en los procesos de simulación, debido a la presencia de valores negativos de T3 que no se pueden dar en la vida real. En este sentido, las distribuciones lognormales son más adecuadas para simulación, ya que no producen valores negativos, y pueden dar lugar a más valores en la cola derecha, lo que parece más acorde con lo que puede suceder en la realidad.

Posición	Intensidad de lluvia	Count	Mean estimation		Confidence interval 95%		Lognormal Fitting				Normal fitting			
			Value	s.e.	min	max	Test	L	p-value	95%	Test	L	p-value	95%
1	0 – sin lluvia	358	3.57	0.05	3.48	3.66	0.05	L	0.02	No	0.09	L	0.00	No
	1 – llovizna	50	3.65	0.08	3.49	3.81	0.16	L	0.00	No	0.12	L	0.08	Yes
	2 – lluvia ligera	90	4.14	0.07	4.00	4.28	0.11	L	0.02	No	0.07	L	0.3289 *	Yes
	3 – lluvia moderada	43	4.59	0.11	4.39	4.80	0.98	S-W	0.83	Yes	0.98	S-W	0.66	Yes
	4 – lluvia intensa	35	5.09	0.11	4.86	5.31	0.98	S-W	0.63	Yes	0.97	S-W	0.37	Yes
2	0 – sin lluvia	93	3.90	0.09	3.72	4.08	0.06	L	0.5776 *	Yes	0.05	L	0.8171 *	Yes
1	0 + 1 + 2 + 3 + 4 – cualquier situación	576	3.84	0.04	3.76	3.91	0.02	L	0.816 *	Yes	0.06	L	0.00	No
2	0 + 1 + 2 + 3 + 4 – cualquier situación	142	4.29	0.09	4.11	4.47	0.06	L	0.2755 *	Yes	0.07	L	0.08	Yes
1	0 + 1 – sin lluvia (o imperceptible)	408	3.58	0.04	3.50	3.66	0.05	L	0.01	No	0.09	L	0.00	No
1	1 + 2 + 3 + 4 – cualquier lluvia	218	4.27	0.06	4.16	4.38	0.05	L	0.2008 *	Yes	0.05	L	0.2049 *	Yes
1	2 + 3 + 4 – lluvia perceptible	168	4.45	0.06	4.34	4.57	0.07	L	0.07	Yes	0.06	L	0.2023 *	Yes
2	1 + 2 + 3 + 4 – cualquier lluvia	49	5.02	0.15	4.72	5.32	0.97	S-W	0.16	Yes	0.10	S-W	0.30	Yes

\* Para p-value > 0.1 el test estadístico se compara con el valor asintótico en la tabla de Lilliefors

**Tabla 5: Estimación de intervalos de confianza de la media de T3 (s) y ajuste a distribución normal y lognormal**

Razali y Wah (2011) realizaron un análisis de la potencia de los principales contrastes estadísticos de normalidad, concluyendo que el contraste de Shapiro – Wilk es el más potente, aunque necesita modificaciones para muestras con  $n > 50$ . También establecieron que Lilliefors siempre supera al contraste original de Kolmogorov – Smirnov en su análisis. Además, recomiendan que no se utilicen solamente técnicas gráficas en este tipo de comprobaciones, sino que se combinen con contrastes formales de normalidad y parámetros de inspección de la forma tales como los coeficientes de curtosis y asimetría estadística (skewness).

En este trabajo se usa el test de Shapiro – Wilk (S-W) para muestras de tamaño menor que 50 y el test de Lilliefors para los otros casos. Según Razali y Wah (2011) estos contrastes no dan resultados adecuados para muestras con  $n \leq 30$ , por lo que no se pueden aplicar a ciertos niveles de intensidad de lluvia para la posición de detención 2. Se han realizado también comparaciones gráficas mediante Q-Q plots así como análisis de parámetros de forma con Jarque – Bera que no se presentan en esta ponencia.

Los resultados muestran que la hipótesis de ajuste a la distribución lognormal no se puede rechazar al 95% para ninguna de las posiciones de detención cuando se consideran los datos agregados para cualquier intensidad de lluvia (niveles 0 a 4) o para situación de lluvia (niveles 1 a 4). Tampoco se puede rechazar con ese nivel de confianza para los casos de lluvia perceptible (niveles 2 a 4 agregados), lluvia moderada (nivel 3) y lluvia intensa (4) en posición de detención 1. Esto se da también para la situación sin lluvia en la posición de detención 2.

Por otra parte, la hipótesis de ajuste a la distribución normal solo se puede rechazar al 95% para los casos de posición de detención 1 sin lluvia (nivel 0), en cualquier situación (niveles 0 a 4 agregados) y en situación sin lluvia o imperceptible (niveles 0 y 1).

Para los casos de posición de detención 1 sin lluvia (0) o con lluvia imperceptible (0+1) se rechazan tanto la hipótesis de normalidad como de lognormalidad.

#### **4. CONCLUSIONES**

Esta ponencia muestra la influencia de la lluvia en los valores de T3 (y por tanto en el tiempo perdido por el autobús en la parada, BLT – Bus Lost Time –) para una parada de autobús convencional con dos posiciones de detención, considerando 5 niveles de intensidad de lluvia (de “0 – sin lluvia” a “4 – lluvia intensa”). Los valores y distribuciones obtenidas no serían directamente extrapolables a paradas con configuraciones diferentes de la presentada.

La conclusión principal es que se produce un aumento de BLT de alrededor de 0.5 s para cada aumento de nivel de intensidad de lluvia (obviando el nivel “1 – llovizna”) para la posición de parada 1. Este valor es mayor que la diferencia de BLT entre las dos posiciones

de parada para tiempo seco, que con las hipótesis presentadas sería de 0.3 s. Si se considera solamente una situación binaria de “lluvia perceptible” frente a “sin lluvia o imperceptible” para la posición de parada 1, se debe considerar un aumento de BLT de 0.9 s.

Los datos recopilados, con diferentes niveles de agregación, se han comparado con las distribuciones teóricas normal y lognormal. Al objeto de realizar simulaciones, se puede suponer distribución lognormal para ambas posiciones de detención para el caso de no distinguir niveles de lluvia, así como para el caso de lluvia de cualquier intensidad. También para los casos de posición de detención 1 con lluvia moderada o intensa y para posición 2 sin lluvia. Para posición de detención 1 con llovizna o lluvia ligera se debe considerar distribución normal, en cuyo caso se pueden utilizar normales truncadas para evitar la obtención de valores negativos de T3.

Estos resultados son coherentes con valores previos obtenidos por otros autores y citados a lo largo de la ponencia. Por otra parte, en este estudio se presentan resultados de tiempo adicional de demora agregando el tiempo de apertura de puertas y el BLT, en contraposición con publicaciones previas de los autores en que se consideraban estos valores por separado. Las conclusiones obtenidas realizando esta agregación son similares a los resultados previos, pero la toma de datos puede resultar más sencilla teniendo en cuenta que la identificación visual del momento exacto en que las puertas han terminado de abrirse puede resultar compleja en algunas situaciones.

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta ponencia forma parte del proyecto “Paradas, transbordos y reserva de plataforma. Análisis experimental y modelización de su influencia en sistemas de autobús (IMPROVEBUS)”, de referencia RTI2018-097924-B-I00, cofinanciado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España y por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (ERDF).

Los autores agradecen a la Compañía de Tranvías de La Coruña (operador del sistema de autobuses urbanos de la ciudad) el acceso a los datos de su Sistema de Ayuda a la Explotación.

## **REFERENCIAS**

DUEKER, K.J., KIMPEL, T.J., STRATHMAN, J.G. (2004). Determinants of Bus Dwell Time. *Journal of Public Transportation*.

JAISSWAL, S. (2010). Busway Platform Bus Capacity Analysis. Tesis Doctoral. School of Urban Development, Faculty of Built Environment & Engineering, Queensland University of Technology, Brisbane.

- JAISWAL, S., BUNKER, J.M, FERREIRA, L. (2010). Modeling Bus Lost Time: An Additional Parameter Influencing Bus Dwell Time and Station Platform Capacity at a BRT Station Platform. 89<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- KATHURIA, A., PARIDA, M., SEKHAR, CH.R., PATHAK, M. (2016a). Examining Bus Dwell Time and Bus Lost Time Dynamics for a Bus Rapid Transit System. 95<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- KATHURIA, A., PARIDA, M., SEKHAR, CH.R., PATHAK, M. (2016b). Examining Bus Lost Time Dynamics for a Bus Rapid Transit Station. *Journal of Public Transportation*.
- LEVINSON, H.S. (1983). Analyzing Transit Travel Time Performance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 915, 1-6.
- LIU, C., SUSILO, Y.O., KARLSTRÖM, A. (2017). Weather Variability and Travel Behaviour – What We Know and What We Do Not Know. *Transport Reviews*.
- MUZYKA, M. (1974). Bus Priority Strategies and Traffic Simulation. Seventh Summer Meeting of the Transportation Research Board in cooperation with the Florida Department of Transportation, Jacksonville, Florida.
- NOVALES, M., ORRO, A., PÉREZ-LÓPEZ, J-B., FEAL, J., BUGARÍN, M.R. (2021). Increasing Boarding Lost Time at Regular Bus Stops during Rainy Conditions: A Case Study. *Journal of Public Transportation* (aceptado para publicación en 2021).
- RAZALI, N.M., WAH, Y.B. (2011). Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics* 2, 21-33.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (2003). *Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCRP Report 100)*. Second Edition. Washington, D.C.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (2013). *Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCRP Report 165)*. Third Edition. Washington, D.C.
- WIDANAPATHIRANAGE, R., BUNKER, J.M., BHASKAR, A. (2015). Modelling the BRT Station Capacity and Queuing for All Stopping Busway Operation. *Public Transport*.