

RELACIÓN ENTRE TIEMPOS DE OPERACIÓN DE AUTOBUSES URBANOS Y TIEMPOS DE RECORRIDO DE TRÁFICO GENERAL

Yaiza M^a Montero Lamas

Contractada predoctoral, Grupo de Ferrocarriles y Transportes, Universidad de A Coruña,
ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, España

Margarita Novales Ordax

Profesora Titular de Universidad, Grupo de Ferrocarriles y Transportes, Universidad de A
Coruña, ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, España

Alfonso Orro Arcay

Profesor Titular de Universidad, Grupo de Ferrocarriles y Transportes, Universidad de A
Coruña, ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, España

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo comparar los tiempos de viaje en autobús con los tiempos de recorrido del tráfico general en A Coruña. Esta comparación permite, por una parte, determinar la relación existente entre la velocidad de circulación de los autobuses y el tráfico general a lo largo del mismo trayecto y sentido de la calzada, y por otra, determinar y cuantificar otros factores que influyen en la misma. Esta información puede ser útil para la planificación de nuevas líneas o la determinación de la necesidad de implantación de plataformas reservadas.

Para llevar a cabo el estudio se han utilizado, por un lado, datos de llegada de autobuses urbanos a cada una de las paradas situadas dentro del tramo a analizar. Esta información se obtiene a partir de la base de datos del Sistema de Ayuda a la Explotación de la Compañía de Tranvías de La Coruña. Por otro lado, el tiempo de recorrido del tráfico general se obtiene explotando los datos recogidos por el Ayuntamiento de A Coruña mediante sensores localizados en diferentes puntos de la ciudad, que detectan dispositivos bluetooth activos y registran la información cada 3 minutos.

Por el momento, el análisis se ha centrado en la relación entre los tiempos de operación de los autobuses urbanos y el tiempo de recorrido del tráfico general en los días naturales del mes de febrero de 2019, en un corredor en concreto, que constituye una de las principales vías colectoras de la ciudad: Ronda de Outeiro entre la Estación de Tren y la intersección con la Tercera Ronda en A Coruña, con una distancia recorrida de 2400 m.

1. INTRODUCCIÓN

El tiempo de recorrido del transporte público urbano, así como su relación con el tráfico general, ha sido objeto de análisis en numerosos estudios desde hace décadas. En Levinson (1983) se calculan las velocidades de tránsito y demoras del autobús en una muestra representativa de varias ciudades de Estados Unidos. En este mismo estudio se concluye que la velocidad del coche es entre 1.4 y 1.6 veces más rápida que la del autobús, utilizando como variables la distancia entre paradas, congestión del tráfico, embarque y desembarque de viajeros, y número de aceleraciones y deceleraciones.

En estudios posteriores se ha continuado con el objetivo de relacionar ambos tiempos de recorrido, utilizando modelos de regresión lineal y añadiendo nuevas variables para llevar a cabo la comparación (McKnight *et al.*, 2004). Estos modelos se han perfeccionado en los últimos años con la incorporación de datos GPS (Bertini y Tantiyanugulchai, 2004; Mazloumi, Currie y Rose, 2010), favoreciendo la creación de marcos teóricos de predicción de tiempos medios de recorrido, hora de llegada a parada o velocidades del transporte público a partir de datos de entrada como el tráfico general (Chien, Ding y Wei, 2002; Chakroborty y Kikuchi, 2004; Mazloumi *et al.*, 2011).

Los teléfonos móviles proporcionan gran cantidad de información que puede ser utilizada para estimar la demanda de viajes de autobús a través de la utilización de aplicaciones como Twitter que geolocaliza las publicaciones (Liao *et al.*, 2020). Por otro lado, estos dispositivos con bluetooth activo pueden ser localizados por sensores que calculan y registran las velocidades y tiempos de recorrido del vehículo en el que se encuentran (Imam, Bhaskar y Chung, 2017), y permiten comparar estos datos con los del transporte público (Kieu, Bhaskar y Chung, 2015). En Banik, Vanajakshi and Bullock (2020) el tiempo de recorrido de los vehículos de tráfico general en Chennai (India) se registra a partir de sensores Wi-Fi y se compara con el tiempo de recorrido del autobús equipado con GPS.

En Liao *et al.* (2020) se concluye que el transporte público tarda de media entre 1.4 y 2.6 veces más que el automóvil privado en recorrer la misma distancia en cuatro ciudades diferentes. En el presente estudio se analizará la relación entre tiempos de recorrido de autobús y tráfico general en la ciudad de A Coruña.

La ponencia se estructura de la siguiente forma: tras este primer apartado introductorio se presenta la metodología seguida para realizar el análisis, en el tercer apartado se exponen los resultados obtenidos y, en el cuarto, se presentan las primeras conclusiones y futuras líneas de investigación a desarrollar a partir de este estudio inicial.

2. CASO DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

En el presente estudio se analizará la relación entre el autobús urbano de A Coruña y el tráfico general durante el mes de febrero de 2019 en la Ronda de Outeiro a lo largo de un corredor de 2400 m de longitud, entre la Estación de Tren y la intersección con la Tercera Ronda. La Ronda de Outeiro es una de las arterias principales de A Coruña: todas las vías de salida y entrada a la ciudad se conectan con esta Ronda. Además, comunica con el Polígono de la Grela, con más de 500 empresas instaladas en una superficie de 1.400.000 m², por lo que el tráfico es elevado en hora punta. El tramo objeto de estudio consta de dos carriles de circulación y 10 paradas de autobús a lo largo de su recorrido pertenecientes a diferentes líneas regulares de la Compañía de Tranvías de La Coruña: 5, 7, 12A, 14, 20 y BUH (nocturna). De las líneas diurnas solo la 12A y la 14 recorren el corredor completo. Para el presente estudio se ha tenido en cuenta la línea 14, que comunica los barrios de Los Rosales y Castrillón. La ubicación de las paradas y de los sensores en el tramo se muestra en la Figura 1.

Para analizar la relación entre tiempos de operación de autobuses urbanos en A Coruña y los tiempos de recorrido de tráfico general se han utilizado dos fuentes de datos. Por un lado, se obtienen los tiempos de llegada del autobús a las paradas seleccionadas, entre las 7:00 y las 23:45 horas, a partir de la base de datos del Sistema de Ayuda a la Explotación de la Compañía de Tranvías de La Coruña. Por otro lado, el tiempo de recorrido del tráfico general se obtiene a partir de los datos recogidos por el Ayuntamiento de A Coruña a través de sensores localizados en diferentes puntos de la ciudad. Estos sensores detectan los dispositivos bluetooth activos, los codifican y registran la información cada 3 minutos. Obteniendo esta información de varios sensores se deduce la procedencia de los vehículos y se conocen los tramos por los que han circulado, así como sus tiempos medios de recorrido cada 3 minutos.



Figura 1. Paradas de autobús y sensores bluetooth en el tramo objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de mapa de paradas de autobús y sensores en A Coruña.

El primer paso para llevar a cabo el análisis será obtener el tiempo total de recorrido de los autobuses urbanos a partir de los tiempos de llegada de los mismos a cada parada durante los días naturales del mes de febrero de 2019. El tiempo total de recorrido se calcula como la diferencia entre el instante de llegada a la parada final (559) y el instante de llegada a la parada inicial (119). En la Tabla 1 se presentan los datos obtenidos para uno de los días estudiados.

No se han considerado para el análisis los tiempos de viaje de autobuses con situaciones anómalas, como inexistencia de registros del instante de paso por alguna parada del tramo, o servicios con cambios de turno de personal en alguna de ellas que dan lugar a aumentos adicionales del tiempo de viaje no atribuibles a las condiciones de tráfico ni de operación normal.

El siguiente paso para realizar la comparación entre ambos tiempos de recorrido será calcular el tiempo que tarda el tráfico general en recorrer el mismo corredor. Este corredor se encuentra delimitado por cuatro sensores de detección bluetooth (numerados en la Figura 1), que forman, entre cada par, tres vectores:

- Vector 44. Tramo entre sensores 1-2.
- Vector 62. Tramo entre sensores 2-3.
- Vector 23. Tramo entre sensores 3-4.

Autobús urbano										Tiempo de recorrido total autobús (s)
Hora de llegada a parada										
119	120	121	122	123	124	125	126	127	559	
07:53:48	07:54:42	07:55:34	07:56:32	07:57:56	07:58:28	07:59:32	08:00:07	08:01:34	08:02:30	522
08:09:47	08:11:07	08:11:31	08:12:33	08:13:51	08:14:21	08:14:47	08:15:35	08:16:23	08:17:41	474
08:28:42	08:29:28	08:30:16	08:31:32	08:32:50	08:33:20	08:34:42	08:35:18	08:36:22	08:37:34	532
08:41:49	08:42:48	08:43:33	08:44:24	08:45:39	08:47:19	08:47:49	08:48:51	08:50:35	08:51:52	603
08:57:40	08:58:42	08:59:32	09:01:13	09:01:56	09:03:14	09:03:52	09:04:44	09:06:10	09:07:11	571
09:13:12	09:13:44	09:14:30	09:15:30	09:16:15	09:17:30	09:18:08	09:18:56	09:19:49	09:20:58	466
09:32:06	09:33:32	09:33:55	09:34:48	09:36:24	09:37:58	09:38:24	09:38:42	09:39:40	09:40:38	512
09:54:40	09:55:46	09:56:29	09:57:00	09:58:20	10:00:14	10:01:02	10:01:54	10:03:16	10:04:24	584
10:03:58	10:05:04	10:05:26	10:06:32	10:06:58	10:08:12	10:09:02	10:10:04	10:11:28	10:12:20	502
10:24:34	10:25:58	10:26:18	10:28:20	10:28:46	10:30:21	10:31:00	10:31:49	10:33:32	10:34:34	600
10:45:00	10:46:14	10:47:08	10:48:55	10:49:26	10:50:48	10:51:30	10:52:20	10:54:02	10:55:00	600
10:59:38	11:00:33	11:01:04	11:03:15	11:04:50	11:06:44	11:08:03	11:08:46	11:10:11	11:11:55	737
11:11:58	11:13:18	11:13:44	11:15:58	11:17:42	11:19:20	11:20:04	11:20:50	11:22:24	11:23:39	701
11:34:00	11:34:35	11:35:34	11:36:56	11:38:20	11:38:48	11:39:44	11:40:32	11:41:45	11:42:52	532
11:55:02	11:56:04	11:57:22	11:58:54	12:00:22	12:01:08	12:02:14	12:02:48	12:04:18	12:05:54	652
12:12:00	12:12:49	12:13:38	12:14:49	12:15:17	12:17:02	12:17:50	12:18:37	12:20:18	12:21:58	598
12:21:48	12:23:28	12:24:04	12:25:22	12:25:56	12:27:28	12:28:10	12:29:06	12:30:12	12:31:30	582
12:48:49	12:50:32	12:51:58	12:53:47	12:55:13	12:56:05	12:57:17	12:58:02	12:59:26	13:01:55	786
12:59:10	13:00:00	13:01:04	13:02:10	13:02:56	13:04:18	13:05:58	13:06:44	13:07:54	13:08:47	577
13:20:12	13:21:04	13:21:49	13:23:02	13:25:02	13:25:45	13:27:01	13:27:50	13:28:58	13:29:55	583
13:32:28	13:33:33	13:34:19	13:35:29	13:36:16	13:37:34	13:38:20	13:39:11	13:40:50	13:42:07	579
13:55:13	13:56:53	13:57:37	13:58:33	13:59:59	14:00:43	14:02:06	14:02:51	14:04:19	14:06:31	678
14:04:50	14:05:40	14:06:27	14:07:14	14:07:44	14:08:54	14:09:48	14:10:38	14:11:38	14:13:36	526
14:25:00	14:25:47	14:26:44	14:28:09	14:28:44	14:30:07	14:31:37	14:32:41	14:34:23	14:36:29	689
14:42:28	14:43:21	14:44:24	14:45:48	14:47:17	14:49:14	14:50:47	14:51:25	14:52:59	14:53:59	691
15:01:47	15:03:21	15:04:21	15:06:21	15:07:19	15:08:29	15:09:29	15:10:48	15:12:25	15:13:27	700
15:15:46	15:16:47	15:17:31	15:18:55	15:19:26	15:20:54	15:22:21	15:23:02	15:24:23	15:25:31	585
15:38:37	15:39:21	15:40:18	15:41:40	15:43:11	15:43:50	15:45:14	15:46:09	15:47:20	15:48:27	590
15:57:07	15:58:40	15:59:32	16:01:11	16:02:52	16:04:29	16:06:15	16:07:07	16:08:25	16:10:42	815
16:13:05	16:14:13	16:15:13	16:16:45	16:18:18	16:20:13	16:21:07	16:22:07	16:24:03	16:25:23	738
16:27:48	16:29:08	16:30:54	16:32:34	16:34:00	16:36:04	16:37:42	16:38:30	16:39:48	16:40:52	784
16:53:55	16:55:23	16:56:16	16:58:27	17:00:14	17:01:08	17:02:12	17:02:56	17:04:14	17:05:09	674
17:22:01	17:23:38	17:25:07	17:28:05	17:29:58	17:32:01	17:33:48	17:35:23	17:37:32	17:39:05	1024
17:30:31	17:32:07	17:33:43	17:35:13	17:36:59	17:37:43	17:39:07	17:40:40	17:42:23	17:44:11	820
17:55:06	17:56:36	17:58:15	18:00:00	18:01:31	18:03:33	18:05:04	18:06:00	18:07:16	18:09:56	890
18:25:07	18:27:12	18:28:48	18:31:07	18:33:00	18:34:51	18:36:43	18:38:18	18:40:01	18:41:28	981
18:45:47	18:48:12	18:49:48	18:52:05	18:54:03	18:56:01	18:57:32	18:58:34	19:00:29	19:02:26	999
19:01:11	19:03:23	19:04:53	19:06:38	19:08:18	19:10:05	19:11:37	19:12:40	19:14:07	19:15:46	875
19:27:57	19:31:05	19:32:42	19:34:11	19:36:01	19:37:59	19:39:44	19:40:36	19:42:00	19:44:35	998
19:42:08	19:43:40	19:45:01	19:46:43	19:48:13	19:49:05	19:50:15	19:50:59	19:52:21	19:53:29	681
20:11:18	20:13:06	20:14:01	20:16:09	20:18:04	20:20:01	20:21:49	20:22:34	20:24:03	20:26:35	917
20:25:44	20:27:05	20:27:53	20:30:03	20:30:45	20:32:35	20:33:59	20:34:41	20:36:17	20:38:19	755
20:50:37	20:52:47	20:53:52	20:54:56	20:56:25	20:57:15	20:58:27	20:59:09	21:00:09	21:01:34	657
21:00:46	21:02:29	21:03:42	21:05:17	21:06:47	21:08:20	21:09:51	21:11:24	21:12:57	21:14:17	811
22:17:04	22:18:25	22:18:49	22:20:48	22:21:38	22:23:03	22:24:21	22:25:00	22:26:03	22:27:08	604
22:36:06	22:37:18	22:37:59	22:38:41	22:39:55	22:40:44	22:41:53	22:43:16	22:44:51	22:45:47	581
22:50:13	22:51:41	22:52:51	22:54:01	22:54:32	22:56:03	22:56:51	22:57:31	22:58:57	23:00:31	618
23:05:29	23:06:13	23:06:31	23:07:09	23:07:33	23:07:57	23:08:51	23:09:09	23:10:15	23:10:58	329
23:23:29	23:24:12	23:24:47	23:25:38	23:26:08	23:27:23	23:28:07	23:28:47	23:30:04	23:30:54	445

Tabla 1. Tiempo de recorrido del autobús en el corredor durante el día 03.02.2019.

Para el cálculo del tiempo de recorrido del tráfico general se considerarán los tiempos de recorrido de los vectores en los intervalos temporales en los que el autobús estuvo circulando por dichos vectores. De esa forma solo se tendrán en cuenta las condiciones de tráfico de cada vector que realmente han podido influir en la velocidad del autobús. Tal y como se representa en la Figura 1, los sensores no coinciden de forma exacta con las paradas del autobús urbano. Para considerar que el autobús ha salido de un vector se tiene en cuenta la parada inmediatamente posterior a la posición del detector de bluetooth que determina su fin. Se ha utilizado este criterio porque el sistema de ayuda a la explotación (SAE) de la operadora registra el instante de llegada a la parada cuando el autobús se encuentra a una distancia de alrededor de 30 m de la misma. Por tanto, considerando la parada inmediatamente posterior se ajusta de forma adecuada el tiempo de estancia en el vector para tomar datos del tráfico general.

Por tanto, para cada vector se considerará el tiempo medio del tráfico general en los períodos en que el autobús se encuentre entre las siguientes paradas:

- Vector 44. Paradas 119 a 122.
- Vector 62. Paradas 122 a 124.
- Vector 23. Paradas 124 a 559.

Como se ha mencionado anteriormente, los datos obtenidos de los dispositivos bluetooth activos se registran cada 3 minutos. En cada instante temporal se registra el tiempo medio que han tardado en recorrer el vector los vehículos que han llegado al segundo sensor del mismo en los 3 minutos anteriores. Por lo tanto, no se obtiene el dato de tiempo de recorrido medio del tráfico general en un vector a la hora exacta de llegada del autobús a la parada. Para llevar a cabo la comparación de datos de forma rigurosa, se empezarán a considerar los datos de un vector desde el instante de registro inmediatamente posterior a la llegada del autobús al mismo, de manera que se obtendrán los tiempos de tránsito de los vehículos que han estado simultáneamente con el autobús en ese tramo. En la Figura 2 se muestra un ejemplo del registro de tiempos de recorrido del tráfico general mediante sensores bluetooth a partir del recorrido del autobús urbano.

Una vez hecha la aproximación a los instantes de registro inmediatamente posteriores a la llegada del autobús a la parada final e inicial de cada vector, se procede a calcular el promedio de tiempos de recorrido del tráfico general en los vectores 44, 62 y 23 a partir de los datos recogidos por el Ayuntamiento de A Coruña. Si el autobús urbano llega a la parada 119 a las 11:02:50 y a la parada 122 a las 11:05:30, se hará el promedio del tiempo de recorrido del tráfico en el vector 44 para los registros de las 11:03 y 11:06. Calculando el promedio de estos dos tiempos registrados se obtiene el tiempo de recorrido medio del tráfico general en el vector 44 en el período en el que el autobús circuló por el mismo. Este procedimiento se repite de forma análoga para los vectores 62 y 23. Por último, la suma de

estos tres promedios será el tiempo medio total de recorrido del tráfico general para el corredor considerado.

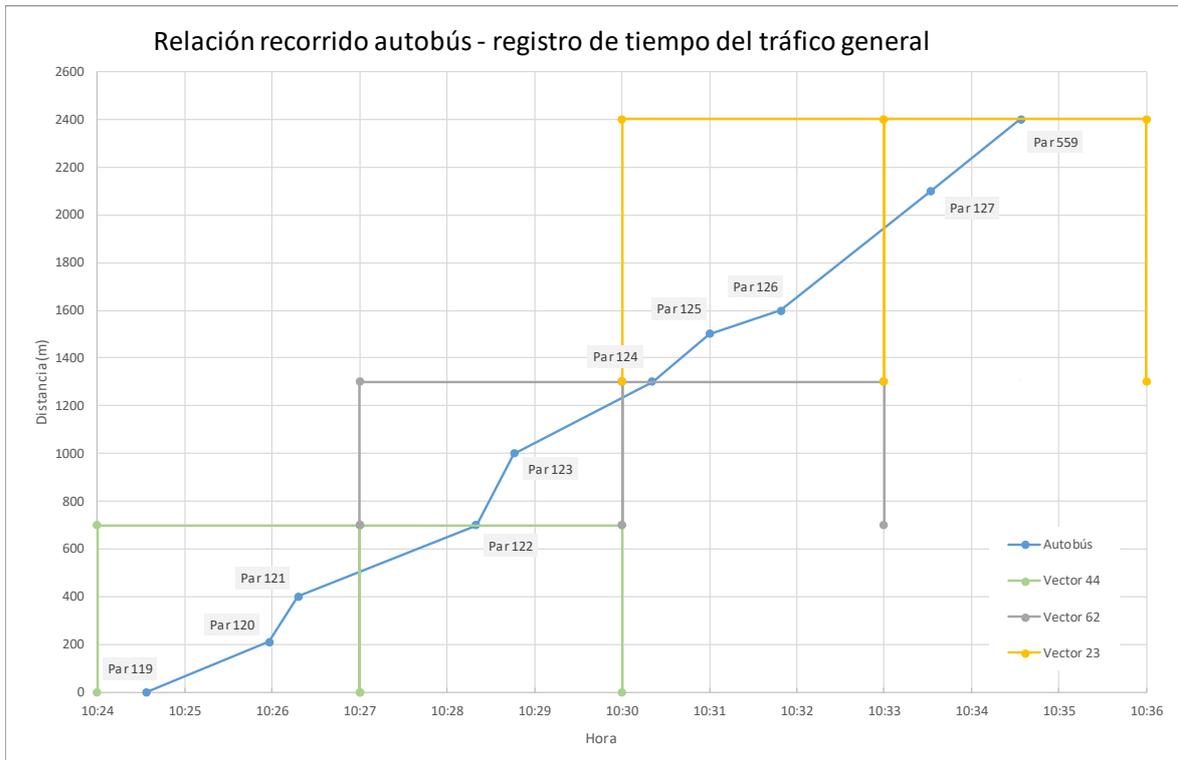


Figura 2. Representación del recorrido del autobús y el registro de tiempo de recorrido medio del tráfico general mediante sensores bluetooth activos. Ejemplo del día 03.02.2019.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los tiempos de recorrido del autobús urbano y el tráfico general durante el mes de febrero de 2019, obtenidos siguiendo la metodología descrita en el apartado anterior, es posible conocer el ratio entre ambos en el tramo objeto de estudio.

En la Tabla 2 se presentan los tiempos totales de recorrido del tráfico general correspondientes a cada uno de los autobuses considerados para una fecha concreta. En la tabla se incluye también esta proporción entre el tiempo de recorrido del autobús y el tiempo medio del tráfico general, así como el intervalo de paso con respecto al autobús anterior de la misma línea.

Hora Llegada autobús Parada 119	Tiempo de recorrido total autobús (s)	Tráfico general				Total tiempo recorrido (s)	Proporción autobús - tráfico	Intervalo entre autobuses (min)
		Promedio tiempos de recorrido (s)						
		Vector 44	Vector 62	Vector 23				
07:53:48	522	111.49	54.79	125.90	292.18	1.79		
08:09:47	474	109.35	73.64	139.41	322.40	1.47	15.69	
08:28:42	532	91.40	81.17	138.26	310.83	1.71	19.25	
08:41:49	603	96.68	96.69	164.08	357.45	1.69	13.46	
08:57:40	571	84.78	100.35	169.34	354.47	1.61	15.96	
09:13:12	466	100.82	83.23	139.59	323.64	1.44	14.43	
09:32:06	512	102.65	86.03	132.23	320.91	1.60	19.76	
09:54:40	584	82.43	78.21	130.49	291.13	2.01	22.70	
10:03:58	502	82.98	89.86	145.35	318.19	1.58	8.60	
10:24:34	600	106.54	69.07	128.10	303.71	1.98	21.61	
10:45:00	600	91.56	79.97	196.65	368.17	1.63	20.52	
10:59:38	737	100.20	77.06	162.94	340.19	2.17	15.46	
11:11:58	701	101.77	92.77	130.46	325.00	2.16	12.40	
11:34:00	532	115.97	94.33	133.13	343.43	1.55	20.42	
11:55:02	652	104.10	65.90	155.13	325.13	2.01	22.10	
12:12:00	598	108.34	57.96	129.43	295.73	2.02	16.02	
12:21:48	582	100.73	56.14	145.41	302.27	1.93	10.28	
12:48:49	786	102.65	84.35	126.98	313.98	2.50	28.60	
12:59:10	577	100.09	120.56	136.46	357.11	1.62	8.59	
13:20:12	583	112.72	65.03	138.18	315.93	1.85	21.16	
13:32:28	579	86.48	93.93	148.53	328.93	1.76	11.95	
13:55:13	678	99.10	63.13	144.57	306.79	2.21	23.46	
14:04:50	526	92.80	114.47	177.12	384.38	1.37	8.17	
14:25:00	689	96.88	62.32	122.93	282.12	2.44	21.32	
14:42:28	691	118.66	89.21	129.57	337.44	2.05	18.20	
15:01:47	700	110.27	71.47	154.45	336.19	2.08	19.61	
15:15:46	585	97.01	72.54	155.85	325.39	1.80	12.68	
15:38:37	590	109.67	75.22	151.31	336.20	1.75	22.95	
15:57:07	815	89.54	65.19	140.68	295.41	2.76	20.22	
16:13:05	738	107.75	65.78	131.01	304.53	2.42	15.41	
16:27:48	784	86.40	73.40	131.30	291.10	2.69	15.69	
16:53:55	674	106.96	68.24	152.78	327.98	2.06	25.26	
17:22:01	1024	92.24	60.98	128.25	281.47	3.64	30.67	
17:30:31	820	123.25	82.92	133.86	340.03	2.41	6.60	
17:55:06	890	93.73	81.01	133.80	308.54	2.88	25.07	
18:25:07	981	99.16	82.16	148.15	329.47	2.98	31.33	
18:45:47	999	109.87	88.43	132.02	330.33	3.02	20.84	
19:01:11	875	134.75	102.87	132.52	370.13	2.36	14.37	
19:27:57	998	115.14	94.38	142.93	352.45	2.83	27.82	
19:42:08	681	113.14	68.65	138.91	320.69	2.12	11.51	
20:11:18	917	99.97	76.50	142.66	319.13	2.87	30.58	
20:25:44	755	108.88	65.40	143.73	318.01	2.37	12.97	
20:50:37	657	137.22	86.87	189.33	413.42	1.59	24.78	
21:00:46	811	143.49	85.73	151.32	380.54	2.13	11.07	
22:17:04	604	128.75	101.01	140.23	369.99	1.63	74.65	
22:36:06	581	102.25	81.06	111.03	294.34	1.97	18.42	
22:50:13	618	104.41	85.45	149.17	339.03	1.82	14.67	
23:05:29	329	80.64	75.40	160.88	316.92	1.04	12.69	
23:23:29	445	99.71	74.41	135.75	309.86	1.44	18.94	

Tabla 2. Tiempo de recorrido medio del tráfico general durante el día 03.02.2019.

Como se puede apreciar en la Figura 3, cuanto mayor es el tiempo de recorrido del tráfico general, mayor es el tiempo de recorrido del autobús urbano, observándose en el gráfico cierta correlación entre las dos variables. En la primera semana de febrero, representada en

la Figura 3, se han analizado un total de 452 autobuses correspondientes a la línea 14. Durante estos primeros 7 días analizados se concluye que el transporte público tarda entre 1.04 y 3.64 veces más que el tráfico general en recorrer la misma distancia, con una proporción promedio de tiempos de recorrido de 2.03. De forma visual, se puede apreciar en la Figura 3 que la mayoría de registros se sitúan entre los límites marcados por las rectas que representan, por un lado, el tiempo de recorrido de autobús equivalente al del tráfico general ($y=x$) y, por otro lado, el tiempo de recorrido del autobús triplicando el valor del tráfico general ($y=3x$). Para los días considerados en la Figura 3, el tiempo de recorrido medio del autobús urbano es de 773 s mientras que el del tráfico general se sitúa en 381 s.

Se ha considerado como umbral de condiciones de tiempo medio mínimo del tráfico general, aquel valor en minutos enteros con al menos 10 valores por debajo. De la misma forma, se ha considerado el umbral de tiempo máximo como el valor con al menos 10 valores por encima. En condiciones de tiempo de tráfico general mínimo, menores que 300 s (5 min), el tiempo de recorrido medio del autobús es de 662 s (11 min). Si se consideran los tiempos máximos del tráfico general, mayores que 480 s (8 min), se obtiene un promedio de tiempo de recorrido del autobús de 1020 s (17 min). Por consiguiente, se puede observar que, entre la situación más y menos favorable para el autobús urbano respecto a la presencia del tráfico general, existe un aumento de tiempo medio de recorrido de 1.54 veces.

Por otro lado, analizando los tiempos de recorrido mínimos y máximos del autobús, por debajo del percentil 5 y superior al percentil 95 de los datos, se obtienen tiempos de recorrido promedio de 487 s y 1162 s respectivamente, produciéndose un ratio de aumento de 2.39. Este dato contrasta con el ratio de 1.94 en el caso del tráfico general, ya que el rango de tiempo de recorrido entre ambos casos extremos es de 5 a 9 min mientras que el autobús se mueve entre los 8 y 19 min, aumentando el tiempo de recorrido máximo en 10 min.

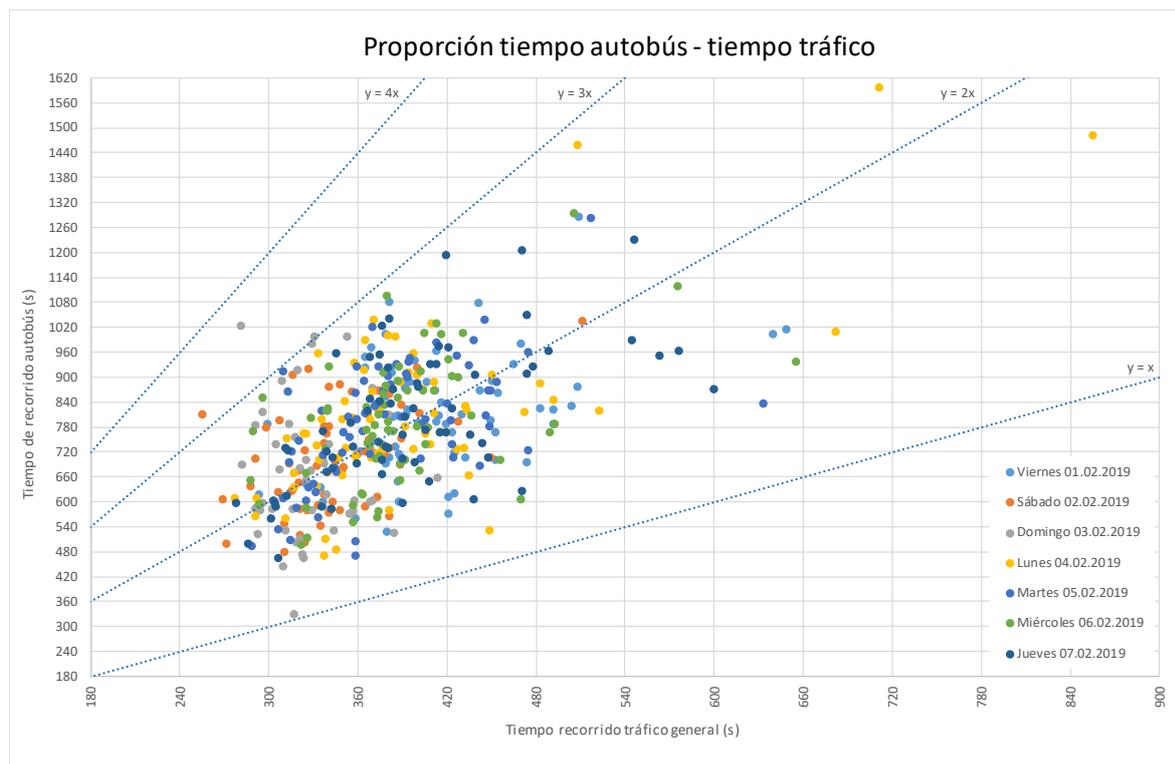


Figura 3. Proporción entre tiempo de recorrido del autobús urbano y tráfico general durante la primera semana de febrero de 2019.

En la Figura 4 se representan los datos calculados para el mes completo. Se observa que el autobús tarda en promedio 2.08 veces más (entre 1.04 y 3.64) que el tráfico general en recorrer el corredor completo, obteniendo resultados similares a los expuestos en Liao et al. (2020), donde se establece una proporción de tiempos entre 1.4 y 2.6. Para llevar a cabo el análisis del mes de febrero de 2019 se han tenido en cuenta 1855 autobuses de la línea 14.

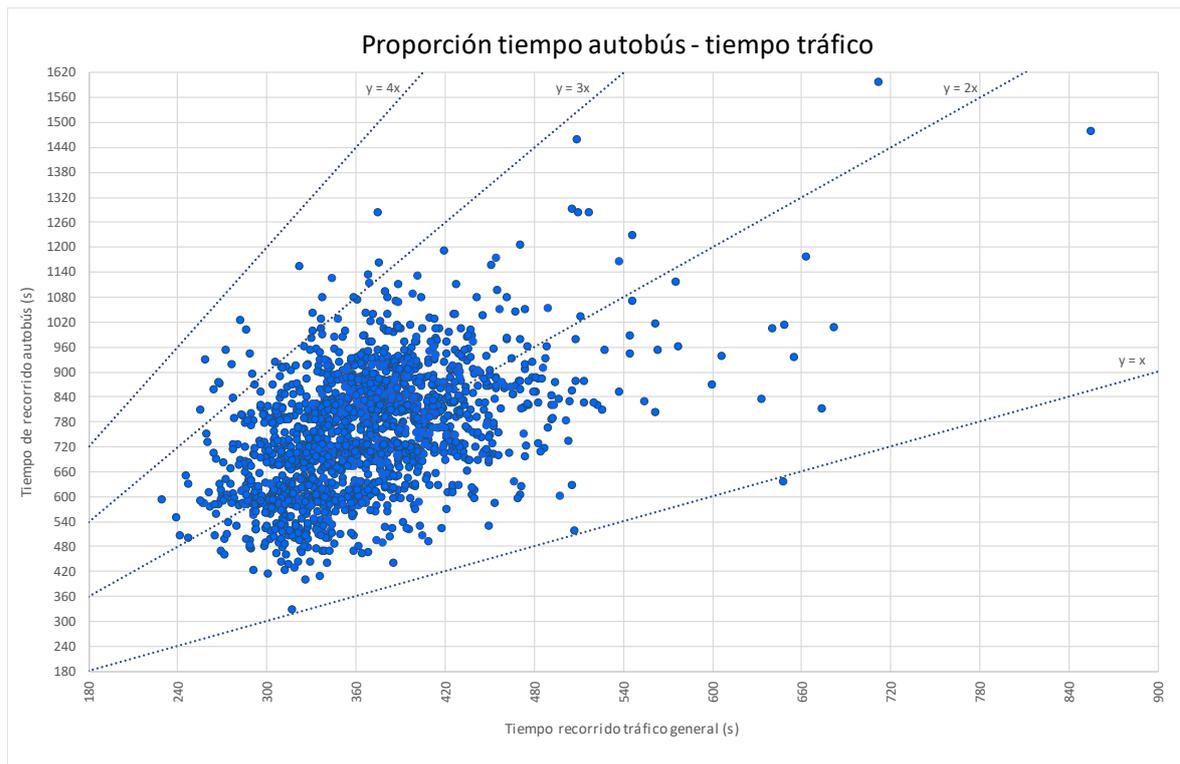


Figura 4. Proporción entre tiempo de recorrido del autobús urbano y tráfico general durante el mes de febrero 2019.

La correlación observada pone de manifiesto la influencia del tráfico en el tiempo de viaje en autobús, pero, sin embargo, la variabilidad de dicho tiempo de viaje para un mismo valor de tiempo de tráfico general indica que existen otros factores que influyen en el tiempo del autobús, como pueden ser la distancia entre paradas, el número de subidas y bajadas en la parada, los ciclos semafóricos, la tipología de paradas o la climatología.

Además de la presencia del tráfico general, los tiempos de operación del transporte público se ven afectados por la frecuencia con la que llegan a la parada los autobuses de la línea. La acumulación de viajeros por el aumento del intervalo entre los vehículos de la Compañía de Tranvías de La Coruña aumentará el tiempo de parada y, por consiguiente, el tiempo de recorrido total. Este hecho se muestra en la Figura 5, que presenta los tiempos de recorrido del autobús y del tráfico general para un día concreto, así como el intervalo entre autobuses en cada momento.

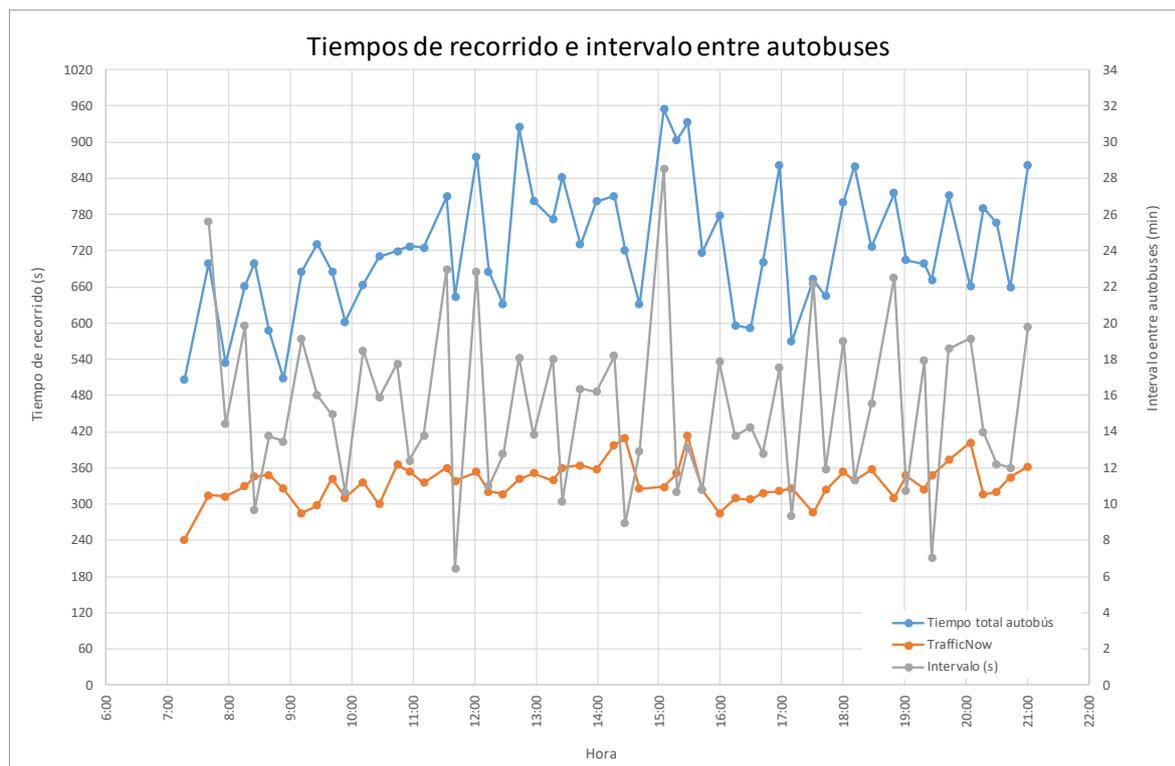


Figura 5. Relación entre tiempos de recorrido e intervalo entre autobuses el día 16.02.2019 en Ronda de Outeiro.

Como se aprecia en la Figura 5, a determinadas horas del día, el aumento en el tiempo del autobús urbano no se justifica con el incremento del tiempo de recorrido del tráfico general. A las 9:10:59 horas del 16 de febrero de 2019 se observa una disminución del tiempo del tráfico y un aumento considerable del tiempo de recorrido del transporte público. Una vez incluida la variable del intervalo entre autobuses, señalada en color gris en la Figura 5, se puede explicar el aumento del tiempo de operación del autobús a las 9:10:59 horas debido al incremento del intervalo. Por otro lado, en el autobús de las 9:41:17 ocurre lo contrario: aumenta el tiempo del tráfico general en el tramo analizado y, sin embargo, el tiempo de recorrido del autobús disminuye. En este caso, el intervalo entre autobuses también puede explicar esta variación, aumentando a la vez que lo hace el tiempo de recorrido del transporte público.

4. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Los resultados presentados en la ponencia han sido las primeras conclusiones obtenidas de una línea de trabajo que se encuentra en estado inicial. Se espera trabajar en el futuro con un mayor número de registros, considerando para el análisis un período temporal más largo, así como diferentes tramos de diferentes líneas en calles con características diferenciadas, para tratar de determinar la influencia de ciertas variables en el ratio entre el tiempo de viaje en autobús y en transporte público. Están en curso otros trabajos para cuantificar los tiempos empleados por el autobús en las paradas y para estimar el número de viajeros que descienden

en cada parada a partir de registros históricos de subidas. Esto permitirá diferenciar la influencia del tráfico, tanto en las maniobras de salida de las paradas como en la propia circulación de los autobuses, de la influencia de la demanda del autobús.

En el presente estudio se ha puesto de manifiesto la variabilidad de la relación existente entre el tiempo de recorrido del tráfico general y el autobús urbano. A partir de los resultados obtenidos y replicando este análisis para otros tramos de la ciudad, se puede considerar la implantación de plataforma reservada en aquellas zonas en las que la influencia de los vehículos sobre el autobús sea mayor. Con esta medida disminuirá el tiempo de recorrido del autobús y no se verá repercutido por atascos ocasionados en el tráfico general.

Por otro lado, se ha evidenciado que el intervalo de tiempo entre autobuses es otro factor que influye sobre el tiempo de recorrido. La información proporcionada por estas dos variables consideradas será útil para la planificación de nuevas líneas de transporte público.

En análisis posteriores se intentarán determinar y cuantificar nuevas variables que influyan en la relación entre el tiempo de recorrido del tráfico general y del autobús, como pueden ser, entre otras: el número de viajeros que suben y bajan en las paradas, el número de intersecciones en el corredor, así como los ciclos semafóricos en las mismas, la sección de la calle (número de carriles, anchura), la tipología de las paradas (bahía, bahía invertida), la meteorología o la intensidad de tráfico medida mediante espiras.

Todos los resultados tienen por objetivo conocer y analizar el comportamiento del autobús urbano y sus causas para así realizar mejoras y conseguir un transporte público más eficiente y más atractivo para los usuarios no cautivos.

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, financiado por: FEDER/Ministerio de Ciencia e Innovación – Agencia Estatal de Investigación. El primer autor es beneficiario de una beca predoctoral (FPI) PRE2019-089651 incluida en proyecto RTI2018-097924-B-I00, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y cofinanciado por el Fondo Social Europeo.

Los autores agradecen al Ayuntamiento de A Coruña el acceso a los datos registrados mediante sensores bluetooth en la ciudad, y a la Compañía de Tranvías de La Coruña (operador del sistema de autobuses urbanos) el acceso a los datos de su Sistema de Ayuda a la Explotación.

REFERENCIAS

- BANIK, S., VANAJAKSHI, L. & BULLOCK, D. M. (2020). Mapping of bus travel time to traffic stream travel time using econometric modeling. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, pp. 1–17. doi: 10.1080/15472450.2020.1846126.
- BERTINI, R. L. & TANTIYANUGULCHAI, S. (2004). Transit Buses as Traffic Probes: Use of Geolocation Data for Empirical Evaluation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1870(1), pp. 35–45. doi: 10.3141/1870-05.
- CHAKROBORTY, P. & KIKUCHI, S. (2004). Using bus travel time data to estimate travel times on urban corridors. *Transportation Research Record* 1884(1), pp. 18–25. doi: 10.3141/1870-03.
- CHIEN, S. I. J., DING, Y. & WEI, C. (2002). Dynamic bus arrival time prediction with artificial neural networks. *Journal of Transportation Engineering* 128(5), pp. 429–438. doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2002)128:5(429).
- IMAM, F. S., BHASKAR, A. & CHUNG, E. (2017). Integrating bluetooth and smart card data for better estimation and prediction of bus speed on arterial corridors with low frequency buses. *Australasian Transport Research Forum, 27-29 November 2017, Proceedings. ATRF, Commonwealth of Australia.*
- KIEU, L. M., BHASKAR, A. & CHUNG, E. (2015). Empirical modelling of the relationship between bus and car speeds on signalised urban networks. *Transportation Planning and Technology* 38(4), pp. 465–482. doi: 10.1080/03081060.2015.1026104.
- LEVINSON, H. S. (1983). Analyzing transit travel time performance. *Transportation Research Record*, pp. 1–6.
- LIAO, Y., GIL, J., PEREIRA, R. H. M., YEH, S. & VERENDEL, V. (2020). Disparities in travel times between car and transit: Spatiotemporal patterns in cities. *Scientific Reports* 10(1). doi: 10.1038/s41598-020-61077-0.
- MAZLOUMI, E., ROSE, G., CURRIE, G. & SARVI, M. (2011). An integrated framework to predict bus travel time and its variability using traffic flow data. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations* 15(2), pp. 75–90. doi: 10.1080/15472450.2011.570109.
- MAZLOUMI, E., CURRIE, G. & ROSE, G. (2010). Using GPS data to gain insight into public transport travel time variability. *Journal of Transportation Engineering* 136(7), pp. 623–631. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000126.
- MCKNIGHT, C. E., LEVINSTON, H. S., OZBAY, K., KAMGA, C. & PAASWELL, R. E. (2004). Impact of traffic congestion on bus travel time in northern New Jersey. *Transportation Research Record* 1884(1), pp. 27–35. doi: 10.3141/1884-04.