

Trolebus eléctrico, una primera solución a la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito-Ecuador

Electric trolleybus, a first solution to mobility in the Metropolitan District of Quito-Ecuador

JAIME PAÚL AYALA TACO¹, ALEXANDER IBARRA

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador. Av. General Rumiñahui s/n y Ambato

jpayala@espe.edu.ec

ORCID: 0000-0001-5128-9084

Recibido: 15/07/2019. Aceptado: 15/11/2019.

Cómo citar: Ayala, Jaime; Ibarra, Alexander (2019). "Trolebus eléctrico, una primera solución a la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito-Ecuador", *TRIM*, 17: 81-92.

Este artículo está sujeto a una [licencia "Creative Commons Reconocimiento-No Comercial" \(CC-BY-NC\)](#).

DOI: <https://doi.org/10.24197/trim.17.2019.81-92>

Resumen: Se presenta un resumen de las experiencias obtenidas de la implantación de un sistema de transporte basado en autobuses con locomoción eléctrica-trolebus en el Distrito Metropolitano de Quito, capital de la República del Ecuador. Además se provee de un análisis del empleo de la electricidad como medio energético para alimentar vehículos urbanos como propuesta de solución para mejorar la movilidad urbana y hacerla sostenible.

Palabras clave: Trolebus; movilidad urbana; Quito

Abstract: A summary of the experiences obtained from the implementation of a transportation system based on buses with electric locomotion-trolleybus in the Metropolitan District of Quito, capital of the Republic of Ecuador is presented. It also provides an analysis of the use of electricity as an energy source to power urban vehicles as a solution proposal to improve urban mobility and make it sustainable.

Keywords: Trolleybus; Urban mobility; Quito

INTRODUCCIÓN

La movilidad urbana en la actualidad se ha convertido en un problema para los administradores de las ciudades. El caos que genera la dificultad de movimiento de la población en las ciudades tiene su origen en el incremento constante del parque automotor, el ineficiente sistema de

transporte público y privado, la carencia de legislación y aplicación escasa de las leyes y normativas existentes orientadas a una organización eficiente en el transporte, debido fundamentalmente al poder que las asociaciones y gremios de transportistas disponen frente al bienestar general de la población.

El futuro de América Latina es urbano. Hoy en día, casi el 80 % de la población de la región vive en centros urbanos y esa proporción llegará a cerca del 90 % en las próximas décadas. Casi 60 ciudades de la región ya cuentan con más de un millón de habitantes, incluyendo cuatro “megaciudades” (más de 10 millones de habitantes) y 23 con más de un millón, todas ellas con un crecimiento poblacional por encima del promedio de sus respectivos países. Esta realidad tiene profundas implicaciones para los esfuerzos de inclusión social y lucha contra la pobreza. La agenda social latinoamericana es hoy por hoy esencialmente una agenda de desarrollo urbano. Los sistemas de transporte público son uno de los elementos centrales que definen las dinámicas de desarrollo urbano, para bien o para mal. La movilidad urbana es determinante tanto para la productividad económica de la ciudad como para la calidad de vida de sus ciudadanos y el acceso a servicios básicos de salud y educación, Fomento (2010).

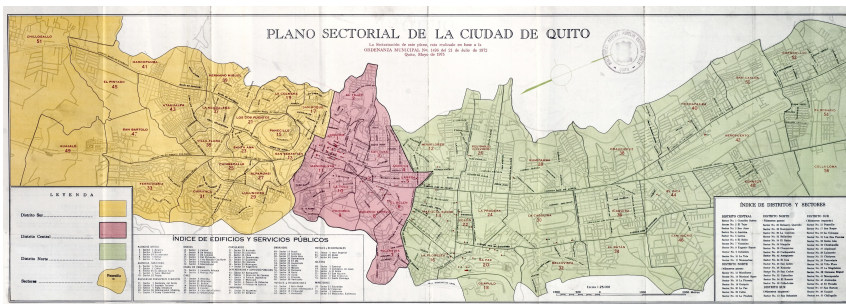


Fig. 1. Topografía de San Francisco de Quito-Ecuador, Distrito Metropolitano de Quito (2019)

La tecnología de tracción eléctrica es la única completamente exenta de emisiones de gases de combustión y partículas contaminantes a la atmósfera en su zona de operación, Alvarado Arias (2016). Por lo que este tipo de tecnología, en la actualidad, es una real posibilidad de mejora en la movilidad urbana.

1. PROBLEMA DE TRANSPORTE

Quito, capital de la República del Ecuador, es una ciudad que se encuentra sobre los 2800 msn., y que tiene aproximadamente 47 km de largo por 5 km de ancho. Su topografía particular, (fig. 1), hace que las calles y avenidas no sean lo suficientemente anchas ni tengan un trazado lineal, esto, sumado a los 432,000 vehículos (datos 2018) que circulan en promedio a diario, provoca la existencia de congestionamientos habituales de tráfico. En Quito, los conductores pierden en promedio hasta 28 horas al año atascados en el tráfico, como una medida para atenuar los problemas de movilidad en Quito, en el año 2010 el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito instauró la restricción vehicular por franjas horarias en función del último dígito de la placa de identificación, sin embargo la cantidad de vehículos se incrementó, ya que los usuarios adquirirían un nuevo auto que supla la restricción. El que no exista un horario diferenciado para ingresar al trabajo y también en las unidades educativas contribuye a que se incremente el tráfico en las vías mientras transcurren las horas pico. La curva de crecimiento del parque automotor es como una 'S', por lo que Quito ya se ubica en la parte superior, pero no llega a la saturación de algunas ciudades como Santiago de Chile, Fomento (2010).

Otra arista de la problemática de la movilidad urbana lo constituye el crecimiento de los vehículos en las ciudades. El promedio anual de crecimiento de motos ha sido del 30 %, mientras que de los vehículos tipo SUV (todoterreno pero ligeros) fue del 13,88 % y seguido de los autos con un 8,88 %. En términos de ocupación del espacio público, la motocicleta ocupa el mismo espacio que un vehículo particular. "Las vías no dan abasto para los vehículos particulares y cada vez hay más congestión". Actualmente en el mundo se propone el uso del transporte público. Desde ese punto de vista no es conveniente alentar la compra de la moto. Lo único que tiene de beneficio es que están al alcance del bolsillo de mucha gente, Chauvin (2007).

Según datos del estudio del Metro de Quito, menos de la tercera parte de la población (23 %) de Quito se moviliza en auto privado; incluido taxis, pero ocupan más del 80 % del espacio público de la calle. La gran mayoría de quiteños se movilizan en transporte público, y un increíble 15 % se moviliza a pie y solo a pie por temas de accesibilidad económica al autobus.

Desde el punto de vista ambiental, mientras más tiempo permanecen los automotores en la congestión pasan más tiempo encendidos, por lo cual hay más emisiones de CO₂. El aumento de autos y más vías para estos es un modelo que no es sostenible en la actualidad, por lo que es mejor trabajar en mejorar el transporte público.

2. SOLUCIONES DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA

2.1. Trolebus

A inicios de la década de 1990 el servicio de transporte urbano en Quito era muy similar al del resto de ciudades ecuatorianas. Buses pequeños y viejos competían en las calles en busca de pasajeros, abriéndose paso forzosamente entre automóviles particulares, parando súbitamente en cualquier lugar para recoger o dejar clientes, o simplemente reduciendo la velocidad, sin llegar a detenerse, mientras que apresurados usuarios intentaban subir o bajar de los vehículos en movimiento, Chauvin (2007).

La Municipalidad de Quito creó en 1990 la Unidad de Estudios de Transporte encargada de proponer un plan de racionalización del sistema que conllevaba una reestructuración institucional, una refundación de la red de transporte y sobre todo la implementación de un sistema de transporte colectivo público masivo. Varias hipótesis fueron consideradas (metro, tren urbano, tranvía), pero muy pronto abandonadas dados los costos elevados de construcción. Poco a poco, maduró la idea de adoptar un sistema integrado superficial en carril exclusivo en su tramo central que atravesaría el centro histórico de la ciudad. Es así como nació el sistema trolebús inspirado del modelo de Curitiba, Brasil, Demoraes (2005).

El trole, inicialmente previsto para transportar 115.000 pasajeros diarios, moviliza hoy a cerca de 210.000 personas, es decir el 11 por ciento de la demanda total en transporte colectivo, por lo que los usuarios viajan sumamente incómodos en las horas pico. Los buses alimentadores, de su lado, transportan 63.000 personas diariamente de las cuales el 90 por ciento realiza una transferencia hacia el trole, Distrito Metropolitano de Quito (2018).

El sistema trolebús opera gracias a la energía eléctrica. Los capitalinos lo ven como un modo de transporte más limpio, en comparación con el sistema de transporte convencional en bus, cuyas emanaciones sumadas a las del parque automovilístico individual contribuían en 1998 a un 87 por ciento de la contaminación atmosférica de Quito, OPS-OMS (2000). Las

unidades del trole están equipadas con motores auxiliares a diesel que les permiten funcionar desde el despacho hasta el corredor electrificado. Este motor es útil también en caso de cortes eléctricos.

Los viajes en transporte público están siendo atendidos por 3.131 unidades (buses “tipo”, articulados, trolebuses y minibuses), distribuidos en 60 operadoras (59 privadas y 1 municipal), de los cuales el 90 % son buses convencionales y el restante 10 % son buses articulados y trolebuses que operan en las troncales de los corredores troncales integrados (BRT). La oferta de transporte público en número absoluto de unidades de buses no ha tenido variaciones significativas en últimos 10 años, tiempo en el cual se ha verificado una disminución de 257 unidades que se asocia a una parte del retiro de buses convencionales en sustitución de los buses articulados incorporados al Corredor Central Norte; mientras que en ese mismo período se incrementó flota solo en casos específicos: 80 buses articulados adquiridos por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ) en el 2011 para los Corredores Nororiental (Ecovía) y Sur Oriental; una ruta interparroquial con 16 minibuses (Floresta-Cumbayá); y, 4 rutas Intraparroquiales (2 en Calderón y 2 en Cumbayá-Tumbaco) con 36 minibuses, Movilidad (2014).



Fig. 2. Sistema trolebús. Primera etapa

El sistema trolebús, (fig. 2), fue diseñado para constituirse en la troncal del Sistema Integrado de Transporte (SIT) del MDMQ, actualmente cuenta con un recorrido principal de 16.1 km y ha sido implantado en dos etapas que se detallan a continuación, Espinel y Morales (2001):

En el año 1995 el trolebús entró en funcionamiento parcial y desde abril de 1996 empieza a operar con una flota de 54 trolebuses. La infraestructura esta compuesta de las vías, estaciones de transferencia,

paradas, taller de mantenimiento, sistema eléctrico, semaforización centralizada, boletaje y un sistema de comunicaciones entre paradas. Para brindar una mejor servicio al usuario y disminuir los tiempos de viaje, las autoridades de la empresa de transporte metropolitano establecieron carriles exclusivos de circulación a los trolebuses, lo que ha permitido establecer cronogramas temporales exactos de viajes y paradas.

2.1.1. Segunda etapa: extensión sur de Sistema Trolebus

A finales de 1999 fueron incorporados a la flota 59 nuevos trolebuses, lo que brinda un total de 113 vehículos, que brindarían servicio a la parte sur de la ciudad; con lo que se incrementa la longitud del servicio en aproximadamente 5 km y 8 paradas.

Quito, al ser una ciudad de altura y por su topografía particular exige las mejores especificaciones de los vehículos que tiene que lidiar con constantes paradas, ascensos con pendientes de hasta 25 grados y descensos abruptos, por lo que las autoridades del MDMQ seleccionaron los trolebuses con las características que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Características técnicas básicas de trolebus Distrito Metropolitano de Quito (2018)

	Flota 1: 0405G	Flota 2: 0405GT
Regulador de marcha	EFB 142 Kiepe	EFB 154 Kiepe
Convertidor de potencia	DPU 305 Ondulador de pulsos tecnología GTO Enfriamiento: ventilación forzada	DPU 401 Ondulador de pulsos tecnología IGBT Enfriamiento: ventilación forzada
Convertidor estático	SEPSA Potencia total 11KVA Salida trifásica 380 V (7.5 KVA) Salida continua 27.5 V (3.5 KVA)	KIEPE: BNU 409 Potencia total 11.5 KVA Salida trifásica 400 V/ 230 v (7.5 KVA) Salida continua 27.6 V (4 KVA)
Potencia	157 Kw (210 HP)	230 Kw (308 HP)
Tecnología	Sistema de inyección mecánica, sistema de aceleración controlado electrónicamente	Sistema de inyección EDC

Motor de Tracción asíncrono trifásico	4 polos ABB BAZU 4651/4 Potencia 230 kW Enfriamiento: ventilación forzada	4 polos ABB BAZU 4651/4 Potencia 230 kW Enfriamiento: ventilación forzada
Pantógrafo	Trole tipo OSA 301 Tensión a hilo: 100 N Altura operación: 3200 mm a 5700 mm	Trole tipo OSA 301 Tensión a hilo: 100 N Altura operación: 3200 mm a 5700 mm
Articulación	Sistema antipandeo controlado electrónicamente	Sistema antipandeo controlado electrónicamente

En la actualidad se dispone de una flota de más de 300 unidades que prestan servicio en la línea trolebús con un recorrido que se resume en la (fig. 3).

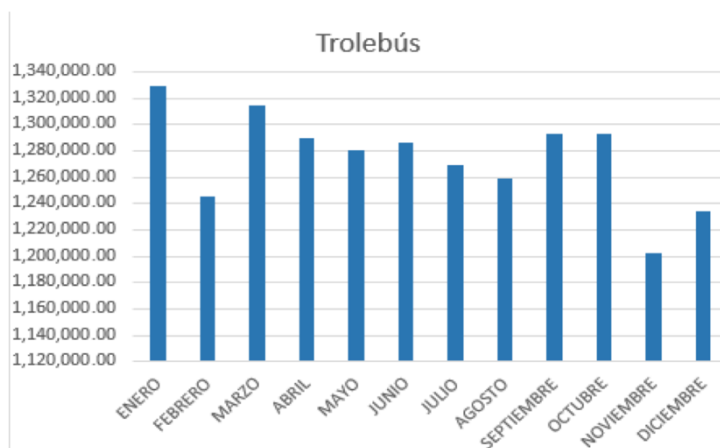


Fig. 3. Recorrido del servicio trolebus

En cuanto al empleo de combustible, se puede manifestar que el costo de diesel por galón en el Ecuador es de 1.04 USD y en referencia al costo eléctrico es de 0.09 USD por kWh. Para el caso del trolebús, el consumo energético es función del kilometraje promedio recorrido. La línea aérea de contacto y las doce subestaciones rectificadoras, o de tracción, se encuentran instaladas a lo largo del recorrido del sistema. Las nueve subestaciones de la primera etapa son alimentadas a 6 kV desde la Empresa Eléctrica Quito S.A., y disponen de 2 cuartos, uno de control y uno de

potencia. Las tres subestaciones de la segunda etapa son alimentadas a 22,8 kV también desde la Empresa Eléctrica Quito S.A. y disponen de tres cuartos, dos de control y uno de potencia, Distrito Metropolitano de Quito (2018).

Para el año 2017, el número de pasajeros transportados por el sistema trolebús de Quito fue de 294,326,105. Sin embargo en la actualidad ya se encuentra finalizado el proyecto Metro-Quito que pretende servir a más de 400,000 pasajeros al día. En estas circunstancias el sistema trolebus pasará a formar parte del sistema multimodal del Metro-Quito.

2.2. Autobuses 100% eléctricos

En el Ecuador, y en particular en las ciudades de Quito y Guayaquil, actualmente se están introduciendo soluciones de movilidad urbana bajo el esquema de autobuses 100 % eléctricos. Estos autobuses miden 18 metros, tienen capacidad para 160 pasajeros, no permiten que el conductor sobrepase los 60 kilómetros por hora (la legislación establece un límite de velocidad de 50 km/h dentro de las ciudades) y no emite gases contaminantes, fabricante BYD, (fig.4). Para que este bus funcione requiere ser cargado durante tres horas y con ello logra una autonomía de 300 kilómetros. En cuanto al valor es casi el doble que su equivalente a diesel. Al no tener motor, ni funcionar con combustible, le ahorra al operador hasta el 50 % del costo de mantenimiento. Con la primera carga podremos conocer cuánto se debe pagar, pero vale mencionar que en promedio hay un 70 % de ahorro en relación a lo que se gasta en combustible.



Fig. 4. Autobuses eléctricos para servicio en Quito, Comercio (2019)

Según un estudio realizado por Bloomberg New Energy Finance, BloombergNEF (2019), incluso en el peor de los casos (autobús con pequeña batería que requiera de muchas cargas, con la opción de carga más cara) podría salir más barato un autobús eléctrico que uno convencional al final de los 15 años de su vida útil. La diferencia de precio se amortizaría a partir de los 60.000 km al año, esto es, al realizar como mínimo 164 kilómetros al día, teniendo en cuenta que la media en una ciudad mediana es de 170 km y en una gran ciudad de 220 km.

Una ciudad con aproximadamente medio millón de habitantes se ahorraría unos 12 millones de dólares anuales, y este dato crece exponencialmente cuanto más grande es la ciudad y más personas viven o trabajan en ella. Imaginen ciudades como México, D. F., París, Londres, Madrid o Barcelona.

Para realizar este análisis se han tenido en cuenta factores como el tiempo medio del viaje, las emisiones, el consumo de energía, el uso de recursos naturales, los impuestos y hasta el ruido que generan los autobuses convencionales.

Esta ciudad modelo tendría una flota de aproximadamente 400 autobuses eléctricos que emitirían 0 partículas cancerígenas durante su funcionamiento y además no generarían casi nada de ruido. A parte de los ahorros directos, el gobierno se ahorrarían algo más de 1.2 millones de USD solo en materia de sanidad porque se reducirían las visitas a los médicos según el estudio. La reducción anual de dióxido de carbono sería de unas 33.000 toneladas, algo así como las emisiones de unas 3.000 viviendas que podrían acoger hasta 12.000 personas.

- El consumo medio de los vehículos eléctricos que ahora mismo están en el mercado se encuentra en torno a 14 kWh/100Km
- Las emisiones medias del mix eléctrico de generación es de 0,234 KgCO₂/kWh
- El consumo de un vehículo diesel de unos 100 CV es de 5 L/100Km
- Las emisiones producidas por litro de diesel consumido es de 2,67 kgCO₂/L

Según los valores anteriores, las emisiones de CO₂ expulsadas por un eléctrico serían unos 3,3 KgCO₂, mientras que las de un vehículo de motor

diesel serían 13.3 KgCO₂, viendo rápidamente las enormes diferencias en materia contaminante que existe a día de hoy entre ambos modelos.

- Pero para hacer un cálculo más preciso tendríamos que considerar las pérdidas energéticas producidas en la generación, transporte y transformación de la electricidad, sucediendo exactamente lo mismo con el petróleo, que además posee un mayor gasto en transporte debido a su necesaria importación.
- Pero además de la eficiencia, el consumo también es un aspecto clave para entender las diferencias entre ambos tipos de vehículos. El consumo medio a los 100 km de los eléctricos puros o BEV disponibles en el mercado, descartando los industriales, es de aproximadamente 12.65 kWh. Pero estos kWh consumidos son solamente los que contiene la batería. La electricidad necesaria extraída de una toma de corriente o generada en una central eléctrica, para que estos 12.65 kWh lleguen a las ruedas, es ligeramente mayor, debido a las pérdidas de la cadena de suministro, tanto en el transporte o distribución de esa energía como en el proceso de carga de la batería.
- Las pérdidas debidas al transporte y distribución de la electricidad promedio son del 6,32 %. Lo que nos deja un rendimiento del 93,7 %. Un convertidor electrónico de potencia estándar, como los que fábrica ABB, tienen un rendimiento según el propio fabricante del 97 %. Una batería tipo Ion-Li como la que montan la mayoría de los vehículos eléctricos modernos, con una resistencia interna de 0.175 mΩ, tiene un rendimiento eléctrico del 99,14 % y uno térmico del 99,63 %, que combinados dejan a la batería con un rendimiento del 98,8 %. En cuanto al motor eléctrico, los avances en la materia han permitido que los actuales coches eléctricos equipen motores de alta eficiencia, cifrando su rendimiento medio en un 88,7 %. Para terminar, el rendimiento del sistema mecánico del vehículo, transmisión y auxiliares, es entorno al 80 %.
- Con estos resultados, se puede comprobar la verdadera energía eléctrica que necesita un vehículo eléctrico para hacer 100 km. Es interesante ver que debido a las diferentes pérdidas del sistema, 12,65 kWh aplicados a las ruedas del vehículo necesitan hasta 32,80 kWh.
- Como vemos, la diferencia es verdaderamente ventajosa para el vehículo eléctrico, incluso comparándolo con los coches de

combustión más eficientes del mercado, estos tienen un gasto solo en combustible del orden de 2,5 – 3 veces más.

- Cabe destacar que los vehículos eléctricos, además de tener una gran capacidad para reducir las emisiones de CO₂, también tienen un papel positivo en la reducción de otros gases contaminantes, quizás menos conocidos, pero muy perjudiciales para la salud, como pueden ser las partículas en suspensión (PM) o los óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos elementos llegan a producir en núcleos urbanos problemas respiratorios, irritaciones o incluso muertes prematuras. Según algunos estudios, la reducción de este tipo de compuestos evitaría de manera directa un mínimo de 800 muertes al año en cada una de las grandes ciudades.

CONCLUSIONES

Para las características topográficas de una ciudad con vías angostas y continuas irregularidades en el terreno se ha demostrado, durante 25 años de funcionamiento del sistema trolebus, que una propuesta de movilidad eléctrica, como el trolebus, aporta a la movilidad de la población y mejora las características medioambientales de convivencia.

El subsecuente fenómeno pico-petróleo hace que cada día más se vuelva escaso y costoso el empleo de combustibles fósiles, con el subsecuente impacto de huella de carbono que estos generan al ser utilizados. Por tal motivo, el transporte en base a energía eléctrica se constituye en una posible solución vanguardista y futurista para la movilidad urbana al rededor del planeta.

AGRADECIMIENTO

Los autores de este artículo quieren agradecer al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), ya que el mismo fue elaborado en el marco del proyecto Red Iberoamericana de Transporte y Movilidad Urbana Sostenible (RITMUS, 718RT0566).

BIBLIOGRAFÍA

Alvarado Arias, F. (2016). “El Trolebús, una alternativa de transporte público que genera ciudades sustentables”. En: *13 Foro de Eficiencia Energética en el Transporte: e-Movilidad*.

- BloombergNEF (2019). *Electric Vehicle outlook 2019*. Inf. téc. BloombergNEF.
- Chauvin, J.P. (2007). *Conflicto y Gobierno Local: El Caso del Transporte Urbano en Quito*. 1.a ed. ABYA-YALA. isbn: 978-9978-67-113-9.
- Comercio, El (2019). *Las pruebas de buses eléctricos comenzarán la próxima semana*. url: <https://www.elcomercio.com/actualidad/pruebas-buses-electricos-quito-transporte.html>
- Demoraes, F. (2005). *Movilidad, elementos esenciales y riesgos en el distrito metropolitano de Quito*. Inf. téc. Colección Quito Metropolitano.
- Distrito Metropolitano de Quito, M.I. Municipio del (2018). *Informe de Gestión 2018*. Inf. téc. Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros.
- Distrito Metropolitano de Quito, Municipio del (2019). *Plano Sectorial de la Ciudad*. (Visitado 2019). Espinel, S. y M. Morales (2001). “Diseño eléctrico de la extensión norte del sistema trolebús del Distrito Metropolitano de Quito”. Proyecto de Titulación de Ingeniería.
- Fomento, Corporación Andina de (2010). *Observatorio de Movilidad Urbana para América Latina*. Ed. por Antonio J. Sosa. 1.a ed. Vol. 1. Panamericana Formas e Impresos S.A. isbn: 978-980-6810-54-9.
- Movilidad, Secretaría de (2014). *Diagnóstico de la movilidad en el distrito metropolitano de Quito para el Plan Metropolitano de desarrollo Territorial (PMOT)*. Inf. téc. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
- OPS-OMS, CEPIS (2000). url: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/E/fulltext/lencuent/ ecupre2.pdf> (visitado 2000).