

DISEÑO INCLUSIVO PARA EL IMPACTO SOCIAL EN ENTORNOS DE ESCASOS RECURSOS

UN ESTUDIO DE CASO SOBRE EL DISEÑO DE SILLAS DE RUEDAS TODOTERRENO

Inclusive Design for Social Impact in Low-Resource Settings; A Case Study of Designing Appropriate All-terrain Wheelchairs

POR/BY **CARA SHAW**

UNIVERSITY OF LIVERPOOL
cara1@liverpool.ac.uk

PALABRAS CLAVE:

MOVILIDAD INCLUSIVA;
RESPONSABILIDAD SOCIAL;
OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE;
DISEÑO CENTRADO EN EL USUARIO;
SILLA DE RUEDAS.

KEY WORDS:

INCLUSIVE MOBILITY;
SOCIAL RESPONSIBILITY;
SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS;
USER-CENTRED DESIGN;
WHEELCHAIR.

RESUMEN

EL DESARROLLO DE UNA TECNOLOGÍA DE ASISTENCIA ADECUADA PARA SER FABRICADA Y MANTENIDA EN EL CONTEXTO LOCAL DE UN ENTORNO DE ESCASOS RECURSOS, REQUIERE PRINCIPIOS DE DISEÑO Y FORMAS DE DISEÑO ALTERNATIVAS A LAS QUE SE UTILIZAN CUANDO SE DISEÑA EN, O PARA, REGIONES DEL MUNDO CON MÁS RECURSOS. ESTE ESTUDIO DE CASO OFRECE UN RELATO EMPÍRICO DEL DISEÑO DE SAFARISEAT, UNA SILLA DE RUEDAS TODOTERRENO QUE SE HA DISEÑADO, PROBADO, FABRICADO Y CONVERTIDO EN UNA EMPRESA SOSTENIBLE EN ÁFRICA ORIENTAL. LA SILLA DE RUEDAS SE DESARROLLÓ CON LA INTENCIÓN DE REDUCIR LA DESIGUALDAD Y AYUDAR A ALIVIAR LA POBREZA EN LAS COMUNIDADES DE ESCASOS RECURSOS, MEJORANDO LA SALUD, EL BIENESTAR Y LA PARTICIPACIÓN DE LOS USUARIOS EN LA SOCIEDAD, A LA VEZ DE CREAR Y FACILITAR PUESTOS DE TRABAJO LOCALES PARA APOYAR A LAS COMUNIDADES. HABIENDO DESARROLLADO EL SAFARISEAT CON UN ENFOQUE DE DISEÑO CENTRADO EN EL SER HUMANO, UNA MENTALIDAD LOCAL Y DANDO PRIORIDAD A LA USABILIDAD Y LA ASEQUIBILIDAD, ESTE ESTUDIO DE CASO SE UTILIZA PARA REFLEXIONAR SOBRE LOS PRINCIPIOS, LAS PRÁCTICAS Y LOS PROCESOS DE DISEÑO APLICADOS. AL MISMO TIEMPO, BRINDA UNA VISIÓN CONTEXTUAL PARA OTROS DISEÑADORES QUE QUIERAN TRABAJAR DE FORMA SIMILAR. EL ESTUDIO DE CASO ABARCA LOS TEMAS DEL DISEÑO EN UN CONTEXTO DE ESCASOS RECURSOS, EL PASO DEL PROTOTIPO A LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN, LAS PRUEBAS CON USUARIOS Y LA DIVULGACIÓN, LOS FINANCIADORES, EL FINANCIAMIENTO Y LA BÚSQUEDA DE UN EQUIPO

LOCAL, LA MEJORA DEL VALOR DEL PRODUCTO Y EL AUMENTO DEL IMPACTO. EN ESTE ARTÍCULO SE ANALIZAN LOS DESAFÍOS QUE SE PLANTEAN AL DISEÑAR EN UN ENTORNO DE ESCASOS RECURSOS Y SE DESTACA CÓMO LA COLABORACIÓN Y LAS ASOCIACIONES LOCALES PUEDEN AYUDAR A CREAR UNA SOLUCIÓN DE DISEÑO MÁS SOSTENIBLE.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de sillas de ruedas está aumentando en todo el mundo, en parte debido al crecimiento y envejecimiento de la población. La Organización Mundial de la Salud (2018) reconoce que más de 75 millones de personas necesitan una silla de ruedas adecuada, de las cuales alrededor del 90% no tienen acceso a una. Esto se debe en gran medida a que la mayoría de las personas que necesitan una silla de ruedas vive en entornos de bajos recursos, donde el acceso a intervenciones de movilidad apropiadas y asequibles es significativamente escaso, al igual que el financiamiento para cubrir dichos costos de servicios de salud (Holloway et al., 2018). Sin tener una movilidad independiente, las personas en entornos de bajos recursos a menudo se encuentran marginadas y luchan por participar como miembros valiosos de su comunidad (DFID, 2018). Esta naturaleza de la exclusión se ve magnificada por atributos comunes en dichos entornos, como la ausencia de apoyo estatal, el estigma social en torno a la discapacidad y la limitada infraestructura

accesible, como aceras y rampas (especialmente en las zonas rurales con terreno accidentado). Como resultado, las personas en entornos de bajos recursos que necesitan una silla de ruedas pero no tienen acceso a una, son susceptibles de caer en un ciclo de discapacidad-pobreza, que puede llevarles a no poder mantenerse financiera o físicamente a sí mismos o a su familia (Banks et al., 2018; Polak y Warwick, 2013). Abordar y prevenir este fenómeno requiere esfuerzos a largo plazo, en los que los diseñadores pueden desempeñar un papel fundamental a la hora de comprender y responder de forma proactiva para ayudar a resolver estos desafíos sociales tan arraigados.

En 2015, las Naciones Unidas señalaron las "desigualdades para las personas con discapacidad" y la "pobreza" como dos de los diecisiete desafíos más importantes a los que se enfrenta la humanidad (Naciones Unidas, 2015). Se han realizado esfuerzos para proporcionar sillas de ruedas a las personas en entornos de bajos recursos como medio para hacer frente a estos desafíos. Se han donado muchas sillas de ruedas importadas a través de organizaciones benéficas, aunque a menudo son inadecuadas para zonas con terreno accidentado, y suelen estar fabricadas con componentes y materiales preformados que no se pueden reparar o sustituir fácilmente a nivel local cuando necesitan mantenimiento. Se han diseñado triciclos que se adaptan mejor a los contextos rurales para su reparación local, pero

ABSTRACT

DEVELOPING APPROPRIATE ASSISTIVE TECHNOLOGY TO BE MANUFACTURED AND MAINTAINED WITHIN THE LOCAL CONTEXT OF A LOW-RESOURCE SETTING, REQUIRES ALTERNATIVE DESIGN PRINCIPLES AND DESIGNERLY WAYS TO THOSE USED WHEN DESIGNING IN, OR FOR, MORE RESOURCED REGIONS OF THE WORLD. THIS CASE STUDY OFFERS AN EMPIRICAL ACCOUNT OF THE DESIGN OF SAFARISEAT, AN ALL-TERRAIN WHEELCHAIR THAT HAS BEEN DESIGNED, TESTED, MANUFACTURED AND TURNED INTO A SUSTAINABLE ENTERPRISE IN EAST AFRICA. THE WHEELCHAIR WAS DEVELOPED WITH INTENTIONS TO REDUCE INEQUALITY AND HELP ALLEVIATE POVERTY IN LOW-RESOURCE COMMUNITIES BY IMPROVING USERS' HEALTH, WELLBEING AND PARTICIPATION IN SOCIETY, WHILST CREATING AND FACILITATING LOCAL JOBS TO SUPPORT COMMUNITIES. HAVING DEVELOPED SAFARISEAT WITH A HUMAN-CENTRED DESIGN APPROACH, A LOCAL MIND-SET, AND PRIORITISATION OF USABILITY AND AFFORDABILITY, THIS CASE STUDY IS USED TO REFLECT

ON THE APPLIED DESIGN PRINCIPLES, PRACTICES AND PROCESSES WHILST PROVIDING CONTEXTUAL INSIGHTS FOR OTHER DESIGNERS SEEKING TO WORK IN A SIMILAR WAY. THE CASE STUDY COVERS THE TOPICS OF DESIGNING IN A LOW-RESOURCE CONTEXT, MOVING FROM PROTOTYPE TO PRODUCTION LINE, USER TESTING AND OUTREACH, FOUNDERS, FUNDING AND FINDING A LOCAL TEAM, ENHANCING PRODUCT VALUE AND INCREASING IMPACT. THIS PAPER DISCUSSES CHALLENGES ENCOUNTERED WHILST DESIGNING IN A LOW-RESOURCE SETTING, AND HIGHLIGHTS HOW LOCAL COLLABORATION AND PARTNERSHIPS CAN HELP LEAD TO THE CREATION OF A MORE SUSTAINABLE DESIGN SOLUTION.

INTRODUCTION

The need for wheelchairs is rising across the world, partially due to a globally growing and aging population. The World Health Organisation (2018) recognises that over 75 million people are

in need of an appropriate wheelchair, around 90% of whom do not have access to one. This is largely due to the majority of individuals in need of a wheelchair living in low-resource settings, where access to appropriate and affordable mobility interventions is significantly lacking, as is funding to cover such healthcare costs (Holloway et al., 2018). Without being independently mobile, people in low-resource settings often find themselves marginalised and struggling to participate as valued members of their community (DFID, 2018). This nature of exclusion is magnified by attributes common in such settings, including absence of state support, social stigma around disability, and limited accessible infrastructure such as pavements and ramps (particularly in rural areas with rough terrain). As a result, people in low-resource settings who are in need of a wheelchair but do not have access to one, are susceptible to falling

suelen ser demasiado grandes para su uso en interiores, lo que obliga a los usuarios a arrastrarse dentro de su casa mientras su triciclo se queda afuera. Se han hecho otros intentos de diseñar sillas de ruedas adecuadas para estos contextos, pero muchos de ellos han tendido a ser demasiado caros para que la población local se los pueda permitir, a adoptar modelos de negocio insostenibles o a depender de la ayuda caritativa en lugar de esforzarse por la sostenibilidad local a largo plazo. Por lo tanto, existe una gran necesidad de contar con una variedad más amplia de sillas de ruedas duraderas y de bajo costo que puedan funcionar en terrenos diversos, sean lo suficientemente pequeñas como para utilizarlas en interiores y se puedan fabricar y reparar a partir de lo que está disponible a nivel local (Constantine et al., 2006). En respuesta a esto, un equipo de cuatro personas estableció el proyecto de diseño SafariSeat en 2016 y pasó dos años desarrollando el diseño desde el prototipo hasta un modelo listo para la producción.

1. METODOLOGÍA DE DISEÑO

El objetivo general del proyecto de diseño del SafariSeat era crear una silla de ruedas todoterreno, de fabricación local y de bajo costo para entornos de escasos recursos, con la intención de ayudar a aliviar la po-

breza, mejorar la accesibilidad y reducir la desigualdad. El diseño pretendía satisfacer las necesidades actuales y ayudar a las generaciones futuras a satisfacer sus propias necesidades, estableciendo una empresa de propiedad local y autosuficiente para fabricar el diseño. Antes de comenzar su desarrollo, se llevó a cabo una amplia investigación primaria y secundaria sobre el diseño y la aplicación de diversas tecnologías de asistencia y soluciones empresariales existentes o discontinuadas en entornos de escasos recursos, para reflexionar y cuestionar el legado y el estado actual del diseño en, y para, estos contextos. El equipo de diseño dedicó varias semanas a realizar observaciones etnográficas y entrevistas narrativas junto a personas que utilizaban o necesitaban una silla de ruedas en Kenia, para investigar y comprender a fondo los problemas a los que se enfrentaban cada día, prestando especial atención a la forma en que su contexto afectaba a sus experiencias (FIGURA 1). Las ideas de esta investigación cualitativa ayudaron a enmarcar y validar el problema de diseño a través de las lentes y las voces de las personas que viven la experiencia, para garantizar la sostenibilidad del diseño (Costanza-Chock, 2020) y una perspectiva centrada en el ser humano desde el principio. Esto se combinó con la exploración

de los elementos culturales, tecnológicos y ambientales para destilar tres principios básicos de diseño, que se aplicaron a lo largo del proceso de diseño inclusivo. Los principios que se exponen a continuación fueron fundamentales para la metodología de este proyecto, ya que ayudaron a guiar y justificar las decisiones de diseño, y a mantenerlo orientado a resolver la raíz real de los problemas identificados:

- Diseño local: en lo posible trabajar con materiales, herramientas, comunidades y redes locales.
- Dar prioridad a la usabilidad: optimizar la durabilidad, confiabilidad, facilidad de fabricación y el mantenimiento.
- Asequibilidad sin límites: minimizar los costos y el tiempo de producción sin comprometer la seguridad.

El objetivo del proyecto era crear una silla de ruedas muy duradera sin comprometer la usabilidad, el funcionamiento o el costo, dejando la apariencia y la forma como consideraciones secundarias frente a la función y la asequibilidad. Se seleccionó una región rural de Kenia como contexto para llevar a cabo este proyecto de diseño, debido a que se caracteriza por un terreno especialmente accidentado y condiciones ambientales adversas, además de ser un entorno de escasos recur-

into a disability-poverty cycle, which can lead to them being unable to financially or physically support themselves or their family (Banks et al., 2018; Polak & Warwick, 2013). Tackling and preventing this phenomenon requires long-term efforts, in which designers can play a critical role in understanding and proactively responding to help solve such deep-rooted societal challenges.

In 2015, the United Nations outlined 'inequalities for people with disabilities' and 'poverty' as two of the seventeen most significant challenges facing humanity (United Nations, 2015). Efforts have been made to provide wheelchairs to people in low-resource settings as a means to tackle these challenges. Many imported wheelchairs have been donated through charitable organisations, although these are often unsuitable for areas with rough terrain, and are generally fabricated from pre-formed components and materials that cannot be easily repaired or replaced locally when maintenance is required. Tricycles that are better suited to rural contexts

have been designed for local repair, but they are typically too large for indoor use, forcing users to crawl inside their home whilst their tricycle is left outside. Other attempts have been made to design suitable wheelchairs for such contexts, but many of these have tended to be too expensive for locals to afford, adopt unsustainable business models, or rely upon charitable support rather than striving for long-term local sustainability. There is thus significant need for a wider range of low-cost, durable wheelchairs that can function on varied terrain, are small enough to use indoors and can be manufactured and repaired from what is available locally (Constantine et al., 2006). In response to this, a team of four established the SafariSeat design project in 2016 and spent 2 years developing the design from prototype to a production ready model.

1. DESIGN METHODOLOGY

The overarching aim of the SafariSeat design project was to create an all-terrain, locally

manufactured and low-cost wheelchair for low-resource settings, with intentions to help alleviate poverty, improve accessibility and reduce inequality. The design aimed to meet the needs of the present and support future generations to meet their own needs, through establishing a locally owned and self-sustaining enterprise to manufacture the design. Prior to commencing development, extensive primary and secondary research was conducted into the design and implementation of various existing or discontinued assistive technologies and business solutions in low-resource settings, to reflect on and question the heritage and current state of design in, and for such contexts. The design team spent several weeks conducting ethnographic observations and narrative interviews alongside individuals who used, or were in need of, a wheelchair in Kenya, to investigate and thoroughly understand the problems they face each day, paying particular attention to how their context effected their

tos en términos de atención de salud, materiales y recursos financieros. Las siguientes secciones de este artículo documentan los métodos de diseño, el desarrollo y la implementación de la silla de ruedas, así como las consideraciones y decisiones clave tomadas en cada etapa del proceso de diseño.

2. DISEÑO EN UN ENTORNO DE ESCASOS RECURSOS

Tras conocer la naturaleza del contexto accidentado en el que se utilizaría la silla de ruedas, la primera fase del diseño se centró en el desarrollo de un mecanismo que mantuviera el contacto constante con el suelo de todas las ruedas al atravesar un terreno tan irregular. La duración y la funcionalidad del mecanismo de suspensión y del chasis se consideraron el aspecto más importante para dar prioridad a la usabilidad de la silla de ruedas en un entorno rural y de escasos recursos. Esta fase del diseño se llevó a cabo como proyecto de diseño de un estudiante universitario y dio como resultado la creación de un prototipo de silla de ruedas propulsada por palanca, demostrando un novedoso chasis articulado (FIGURA 2). A pesar de estar lejos de ser viable, factible o deseable para su uso o fabricación, este prototipo sentó las bases para diseñar, desarrollar, probar, fabricar e implementar el

concepto de silla de ruedas todoterreno en este contexto.

Una vez investigado, enmarcado y validado el problema de diseño, la prioridad siguiente para diseñar en un entorno de escasos recursos se centró en el principio del diseño local. Se identificaron y adoptaron materiales, herramientas y métodos de fabricación locales para el diseño en la región de la Kenia rural donde se desarrolló el SafariSeat. En la creación de las especificaciones del diseño se tuvieron en cuenta los modos de vida locales, el entorno y las condiciones meteorológicas. Los materiales, como los tubos metálicos para el marco y los componentes estándar de las bicicletas, se obtuvieron en las cercanías para garantizar que la fabricación y el mantenimiento se pudieran realizar localmente. Un ejemplo de adaptación del diseño a la fabricación local fue el uso de tubos de plástico para el riego dentro del mecanismo del chasis articulado, con el fin de minimizar la fricción de las piezas móviles; este tipo de tubos está disponible en la mayoría de las zonas donde se practica la agricultura, que es la principal actividad en los entornos rurales de bajos recursos (Gulliver et al., 2001). Un ejemplo de adaptación del diseño a las formas de vida locales fue la incorporación de plataformas portaobjetos con puntos de amarre

en el diseño del chasis, para permitir a los usuarios transportar equipaje como cestas de comida o recipientes de agua, al tiempo que mantienen las manos libres para controlar la silla de ruedas cuando se desplaza.

3. PRUEBAS DE USABILIDAD POR PARTE DE USUARIOS LOCALES

Al principio del proyecto se dedicaron varias semanas a convivir con personas que necesitaban una silla de ruedas, para aprender y comprender a fondo cómo vivían, al tiempo que se observaban los obstáculos a los que se enfrentaban, debido a sus problemas de movilidad. Se contrató a un scout local para que ayudara a identificar y recopilar información sobre los posibles usuarios, con el fin de formar un grupo de potenciales y entusiastas usuarios dispuestos a probar los prototipos. Más de treinta prototipos diferentes de sillas de ruedas fueron sometidos a rigurosas pruebas de usabilidad con este grupo, para recoger datos cuantitativos y cualitativos. El grupo estaba formado por una amplia gama de usuarios para garantizar la representación de una variedad de individuos en términos de discapacidad, edad, fuerza física, situación laboral y situación de vivienda. Los requisitos de los usuarios y la usabilidad del diseño de la silla de ruedas se perfeccionaron de forma reiterada median-

experiences (Figure 1). Insights from this qualitative research helped to frame and validate the design problem through the lenses and voices of those with lived experience, to ensure design justice (Costanza-Chock, 2020) and a human-centred perspective were maintained from the outset. This was combined with the exploration of embedded entanglements of culture, technology and environment, to distil three core design principles, which were applied throughout the inclusive design process. The principles outlined below were central to the methodology of this project, helping to guide and justify design decisions, and keep it on track to solving the real root of the identified problems:

- Localised Design; work with local materials, tools, communities and networks wherever possible.
- Prioritise Usability; optimise durability, reliability, ease of manufacture and maintenance.

- Ruthless Affordability; minimise costs and production time without compromising safety.

The project aimed to create a highly durable wheelchair without compromising usability, performance or cost, thus leaving appearance and form as secondary considerations to both function and affordability. A rural region of Kenya was selected as the context for undertaking this design project due to being characterised by particularly rugged terrain and harsh environmental conditions, as well as being a low-resource setting in terms of healthcare, materials, and financial resources. The following sections of this paper document the methods for designing, developing and implementing the wheelchair, as well as key considerations and decisions made at each stage of the design process (Figure 1).

2. DESIGN IN A LOW-RESOURCE SETTING

Having become familiar with the nature of the rugged context the wheelchair would be

used in, the first stage of the design focused on developing a mechanism to maintain constant ground contact with all wheels whilst traversing over such uneven terrain. Optimising the durability and functionality of the suspension mechanism and frame was deemed to be the most fundamental aspect for prioritising usability of the wheelchair in a low-resource and rural setting. This stage of the design was conducted as an undergraduate student design project and resulted in the creation of a lever-propelled wheelchair prototype, demonstrating a novel articulated chassis (Figure 2). Despite being far from viable, feasible or desirable to use or to manufacture, this prototype provided the foundations for designing, developing, testing, manufacturing and implementing the all-terrain wheelchair concept in context.

Having investigated, framed and validated the design problem, the next priority for designing in a low-resource setting centred on the principle of localised design. Local materials, tools, and



FIG.1 Enmarcar y validar el proyecto pasando tiempo con los lugareños que necesitan una silla de ruedas, a la vez de familiarizarse con el terreno accidentado de una región rural de Kenia.

FIG.1 Framing and validating the project by spending time with locals who require a wheelchair, whilst becoming familiar with the rough terrain in a rural region of Kenya.



FIG.2 Un usuario prueba el primer prototipo de safariseat propulsado por palanca con un chasis articulado que actúa como mecanismo de suspensión en terrenos irregulares.

FIG.2 User testing the first lever-propelled SafariSeat prototype with an articulated chassis acting as a suspension mechanism over uneven terrain.

te una combinación de observaciones etnográficas y comentarios de los usuarios tras probar cada prototipo. Por ejemplo, el primer prototipo de silla de ruedas utilizaba un mecanismo de propulsión por palanca para avanzar, pero los resultados de las pruebas con usuarios concluyeron que no era una solución, viable porque algunos usuarios la consideraban difícil de maniobrar, biomecánicamente ineficaz, incómoda de propulsar cuando hacía calor y que requería una fuerza considerable de la parte superior del cuerpo para subir colinas o atravesar terrenos muy accidentados. Por ello, las palancas se sustituyeron por pedales manuales giratorios (FIGURA 3) con una relación de transmisión optimizada para garantizar una experiencia agradable al usuario. Las manivelas de los pedales de bicicleta, fácilmente disponibles, se reutilizaron para montar estas dos manivelas giratorias a ambos lados del asiento y se utilizaron engranajes fijos sencillos para eliminar la necesidad de frenos separados al girar con fuerza o al detenerse. Los comentarios de los usuarios también influyeron en las decisiones de diseño, como aumentar ligeramente el ancho de vía para mejorar la estabilidad, utilizar un tejido de asiento duradero de color oscuro para minimizar la visibilidad del polvo y el desgaste, añadir reposapiés ajustables y aumentar el grosor del

cojín del asiento, todo lo cual se incorporó al diseño final.

Dado que en Kenia se hablan más de sesenta idiomas diferentes, el scout ayudó a organizar las pruebas de los usuarios con antelación y a acompañar al equipo de diseño actuando como traductor para ayudar en la comunicación. Se idearon actividades con elementos locales y una comunicación verbal mínima para que las pruebas de usuario fueran una experiencia agradable para los usuarios y sus familias sin necesidad de entender al equipo de diseño palabra por palabra. Por ejemplo, se colocaron objetos locales, como cáscaras de coco, a una distancia medida para crear una sencilla carrera de obstáculos en la que el usuario pudiera practicar sus maniobras (FIGURA 4). El mismo recorrido se midió en diferentes prototipos con diferentes usuarios para registrar y cuantificar las mejoras en su maniobrabilidad, precisión y velocidad desde el principio hasta el final, lo que ayudó a informar sobre varios aspectos de la usabilidad.

Se imprimieron formularios de pruebas de usuarios y se llevaron a cada visita de prueba como guía para que los diseñadores registraran sus observaciones de las actividades. Asimismo, sirvieron de recordatorio para que los diseñadores documentaran o puntuaran cada elemento de la visita. Inme-

diatamente después de completar las actividades de prueba, se pidió a los usuarios que reflexionaran cualitativamente sobre su experiencia de uso del prototipo. Se utilizó el análisis fenomenológico-interpretativo junto con una escala cuantitativa de reflexión sobre la actividad, para captar la percepción personal de cada usuario y su relato de la experiencia (en lugar de captar únicamente el relato objetivo del diseñador sobre la experiencia). Las descripciones verbales de los usuarios sobre sus experiencias fueron traducidas en tiempo real por el scout y grabadas por una cámara de vídeo, que también captó el lenguaje corporal, las expresiones y los gestos de los usuarios al describir sus experiencias. Toda esta información fue revisada y evaluada por los diseñadores para informar sobre la posterior creación de prototipos.

Teniendo en cuenta las posibles barreras lingüísticas y de alfabetización, se diseñó un manual de usuario para que se entendiera a través de imágenes y símbolos junto con un texto sencillo (FIGURA 5). Todos los pasos necesarios para el mantenimiento se incluyeron en el manual y se demostraron durante la entrega del producto junto con una capacitación básica sobre el uso de la silla de ruedas y temas de salud. Todos los usuarios que participaron en las pruebas de

manufacturing methods for the design were identified and adopted from the region of rural Kenya where the development of SafariSeat took place. The local ways of life, environment, terrain and weather conditions were taken into consideration in the creation of the design specification. Materials such as metal tubing for the frame and standard bicycle components were sourced nearby to ensure manufacture and maintenance could be carried out locally. An example of adapting the design for local manufacture was using plastic irrigation tubing inside the articulated chassis mechanism, to minimise friction of moving parts; this type of tubing is available in most areas where agriculture occurs, which happens to be the main industry in rural low-resource settings (Gulliver et al., 2001). An example of adapting the design for local ways of life was incorporating storage platforms with tie-down points in the design of the frame, to allow users to transport luggage such as baskets of food or containers of water,

whilst keeping their hands free to control the wheelchair when moving along (Figure 2).

3. USABILITY AND LOCAL USER TESTING

At the start of the project, several weeks were spent with people who required a wheelchair, to learn and thoroughly understand how they live whilst observing the hurdles they faced due to their mobility impairments. A local Outreach Scout was recruited to help identify and compile information about prospective users, to form a group of enthusiastic user testers. Over thirty different wheelchair prototypes were put through rigorous usability testing with this group, to collect both quantitative and qualitative data. The group consisted of a diverse range of users to ensure representation from a variety of individuals in terms of their disability, age, physical strength, employment status and housing situation. User requirements and usability of the wheelchair design were iteratively refined through a combination of

ethnographic observations and feedback from users after testing each prototype. For example, the first wheelchair prototype used a lever-propelling mechanism to move along, however, results from user testing concluded this was not a viable solution due to some users finding it difficult to manoeuvre, biomechanically inefficient, uncomfortable to propel in hot weather, and requiring considerable upper body strength to move up hills or over very rough terrain. As a result, the levers were replaced by rotating hand pedals (Figure 3) with a gear ratio optimised to ensure a pleasant user experience. Readily available bicycle pedal cranks were repurposed to mount these two rotating handles either side of the seat, and simple fixed gears were used to eliminate the need for separate brakes when turning tightly or stopping. User feedback also informed design decisions such as slightly increasing the track width for better stability, using a dark coloured durable seat fabric to minimise visibility of dust and wear,

usabilidad a largo plazo recibieron también un paquete de mantenimiento con llaves y aceite para el cuidado de su silla de ruedas. La realización de pruebas de durabilidad a largo plazo en la zona ayudó a dar a conocer el proyecto y, por tanto, a aumentar el número de personas y organizaciones que se pusieron en contacto con el taller para solicitarlo. El poder del boca a boca se puso rápidamente de manifiesto, y posteriormente se convirtió en un método fundamental para identificar a posibles usuarios.

4. DEL PROTOTIPO A LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Las distintas versiones del diseño se probaron en un taller de mecánica perteneciente a una organización benéfica local que fabricaba triciclos. Debido al estado deteriorado y la falta de exactitud de las herramientas del taller, hubo que prestar especial atención a la precisión y, como en muchos otros lugares de la región, se produjeron frecuentes cortes de electricidad que a menudo interrumpieron la creación de prototipos. A pesar de ello, el taller estaba equipado con todo lo necesario para la creación de prototipos y permitió al equipo de SafariSeat trabajar junto a un grupo de ingenieros locales con conocimientos. A medida que el equipo se preparaba para aumentar la escala de producción, se necesitaba un espacio de

trabajo más grande y permanente y, a pesar del ajustado presupuesto del proyecto, se tomó la decisión de crear un taller independiente. Se identificó un matadero local en desuso y se llevaron a cabo los planes para convertirlo en un nuevo taller, listo para comenzar la producción de las sillas de ruedas SafariSeat (FIGURA 6).

Se dedicaron tres meses a ajustar el diseño del SafariSeat para maximizar la eficiencia de la producción, lo que redujo sustancialmente el tiempo de fabricación y montaje de un pequeño lote de sillas de ruedas, en la búsqueda de una asequibilidad sin límites. El número de componentes del armazón de la silla de ruedas se redujo en más de un 30% con respecto al primer prototipo, y su peso y costo disminuyeron proporcionalmente. Se creó una línea de producción para racionalizar los procesos de fabricación y minimizar los errores humanos. Para ello, se crearon nuevos flujos de trabajo y estaciones de procesamiento, se organizaron los componentes mediante convenciones de nomenclatura y se mejoraron las técnicas de montaje, como la creación de diversas plantillas para colocar con precisión los componentes para la soldadura (FIGURA 7). Se crearon libros de tareas para detallar todo el proceso de fabricación en forma de manuales de instrucciones paso a paso, y se

realizaron pequeñas series de producción para identificar los cuellos de botella, optimizar aún más el diseño, mejorar el control de calidad y aumentar la productividad.

En los casos en los que el equipo era demasiado caro para comprarlo con el limitado presupuesto del proyecto, la eficacia de la fabricación se vio comprometida por la adaptación de los procesos para trabajar con herramientas o técnicas menos caras, sin dejar de conseguir un acabado de alta calidad. Por ejemplo, utilizando una pistola de calor para fundir y curar la pintura en polvo en lugar de comprar un gran horno. Para minimizar los costos a largo plazo, casi todas las instalaciones de procesamiento se construyeron en el taller. En los casos en que los procesos o los equipos no se podían crear en la empresa, se establecieron asociaciones con empresas locales especializadas para utilizar o prestar sus equipos. En lo que respecta a la verificación de las normas, el presupuesto del proyecto no podía financiar la subcontratación del proceso en instalaciones con normas ISO, por lo que el diseño se probó utilizando métodos simplificados establecidos en la propia empresa (Mhatre et al., 2017; Whirlwind International, 2011). Una vez finalizado el diseño, se construyeron instalaciones de ensayo más rigurosas y precisas para realizar las pruebas de KEBS en el taller.

adding adjustable foot plates and increasing the seat cushion thickness, all of which were incorporated into the final design.

With over 60 different languages spoken across Kenya, the Outreach Scout helped to streamline user testing by pre-arranging user testing visits and accompany the design team as a translator to assist with communication. Activities involving local props and minimal verbal communication were devised to make user testing an enjoyable experience for the users and their families without needing to understand the design team word for word. For example, local objects such as coconut shells were spaced out evenly over a measured distance to create a simple obstacle course for the user to practice manoeuvring through (Figure 4). The same course was measured out for different prototypes with different users to record and quantify improvements in their manoeuvrability, accuracy and speed from start to finish, which helped to inform various aspects of usability.

User testing forms were printed out and taken along to each usability visit as a guideline for the designers to use when recording their observations of activities, whilst also acting as a prompt to remind the designers how to document or score each element of the visit. Immediately after completing test activities, users were asked to qualitatively reflect on their experience of using the prototype. Interpretative Phenomenological Analysis was used alongside a quantitative activity-reflection scale, to capture each user's personal perception and account of the experience (as opposed to solely capturing the designer's objective account of the experience). The users' verbal descriptions of their experiences were translated real-time by the Outreach Scout and recorded by a video camera, which also captured the users' body language, expressions and gestures when describing their experiences. All of this information was reviewed and evaluated by the designers to inform subsequent prototyping.

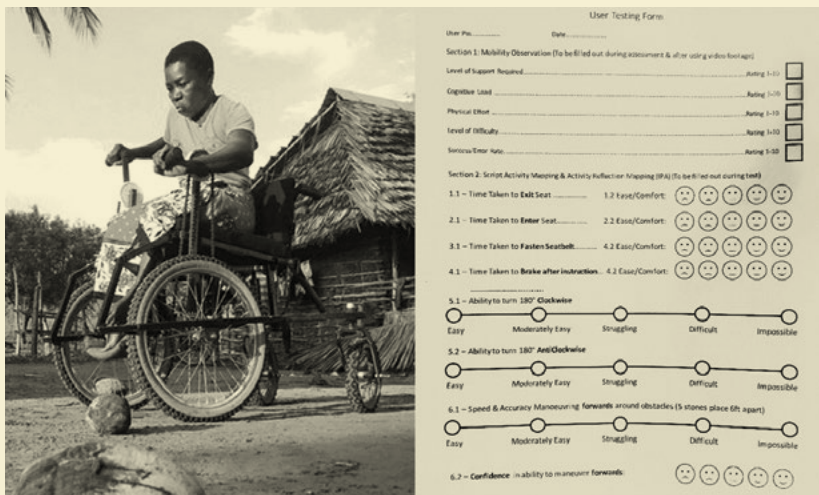
With potential language and literacy barriers in mind, a user manual was designed to be understood through images and symbols alongside simple text (Figure 5). All necessary steps for maintenance were included in the manual, and were demonstrated during product handover alongside basic training in wheelchair use and health issues. All users taking part in long-term usability trials were also provided with a maintenance pack containing spanners and oil to take care of their wheelchair. Long-term durability testing in the local area led to a growth in awareness of the project and thus an increase in individuals and organisations contacting the workshop with requests. The power of word-of-mouth quickly became apparent, and subsequently became a core method for identifying prospective users.



←

FIG.3 La familia de una usuaria observa cómo prueban un nuevo prototipo de silla de ruedas con pedal de mano.

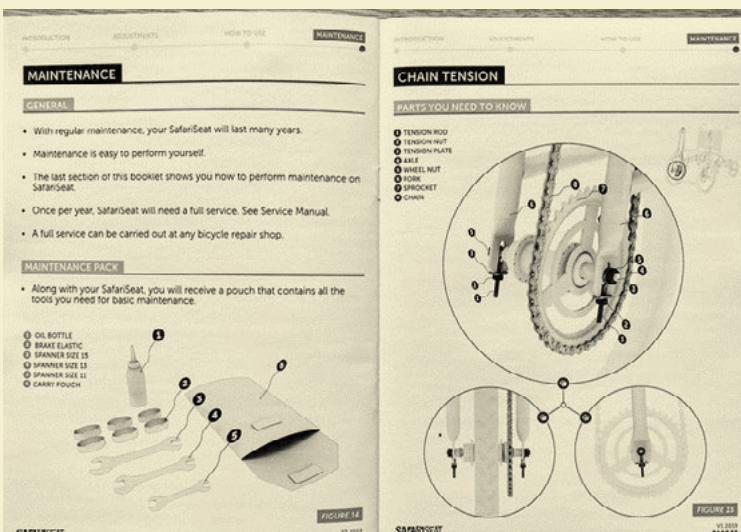
FIG.3 User's family watches as they test a new hand pedal wheelchair prototype.



←

FIG.4 Una usuaria maniobra la silla de ruedas en una pista de obstáculos. Extracto de uno de los formularios de pruebas de usuarios utilizados para registrar datos cualitativos y cuantitativos durante la prueba.

FIG.4 User manoeuvring the wheelchair around an obstacle course. An excerpt from one of the user testing forms used to record qualitative and quantitative data during the test.



←

FIG.5 Una página del manual para el usuario, que utiliza elementos visuales para transmitir información sobre el mantenimiento.

FIG.5 A page from the user manual, using visuals to convey maintenance information.



FIG.6 Equipamiento del nuevo taller y puesta a punto de la línea de producción de sillas de ruedas (antes y después).

FIG.6 Kitting out the new workshop and setting up the wheelchair production line ready for manufacture (before and after).



FIG.7 Utilización de una plantilla para colocar con precisión los componentes del bastidor en preparación para la soldadura.

FIG.7 Using a jig to accurately position frame components in preparation for welding.

5. FINANCIAMIENTO Y BÚSQUEDA DE UN EQUIPO LOCAL

El proyecto de diseño SafariSeat fue financiado por un pequeño grupo de diseñadores del Reino Unido, que se propuso convertirlo en una empresa sostenible que fuera adoptada y gestionada por los habitantes de Kenia. Para alcanzar este objetivo, el equipo necesitaba primero asegurar el financiamiento para el diseño, el prototipo, las pruebas y el establecimiento de las instalaciones. Se eligió el *crowdfunding* como medio adecuado para financiar el proyecto, debido a la posibilidad de compartir una historia y una visión con una comunidad global en línea, al mismo tiempo que se daba a conocer la idea del producto, se compartía el progreso del proyecto y se solicitaba más apoyo de la multitud que lo apoyaba si era necesario más adelante. Desde el principio se decidió que todos los financiadores trabajarían de forma totalmente voluntaria y a tiempo completo para poder dedicar el máximo presupuesto y tiempo posible a la investigación, el diseño y el desarrollo de la silla de ruedas. Se recaudaron más de 90.000 dólares a través de la campaña de *crowdfunding*, que duró hasta la fase de implementación, dos años después. En ese momento, el diseño estaba terminado, las pruebas con usuarios a largo

plazo se habían completado con éxito y el diseño estaba listo para ser fabricado.

Se preparó a un lugareño entusiasta y diligente para que se convirtiera en el nuevo jefe de taller, junto con un grupo de técnicos de confianza que se incorporaron al equipo desde el taller de triciclos o fueron recomendados por lugareños de confianza (FIGURA 8). Encontrar un equipo local que tomara el relevo de los fundadores marcó el inicio de la adopción del diseño por parte de la comunidad y permitió a los fundadores dar un paso atrás. Los primeros lotes de sillas de ruedas producidos en el taller se donaron a particulares a través de los fondos recaudados en la campaña original de *crowdfunding*; sin embargo, pronto se vio que, a pesar de sus bajos costos de producción y venta, se necesitaba un modelo de negocio poco convencional a largo plazo para que SafariSeat fuera accesible a los usuarios de bajos ingresos y lograra la autosostenibilidad (Polak y Warwick, 2013). Se contrató a un experto en desarrollo de empresas sociales para que ayudara a idear un modelo de negocio adecuado que incluyera el microfinanciamiento, para que la silla de ruedas fuera accesible para los más desfavorecidos, y para que guiara la transición de la organización hacia la sostenibilidad total.

6. AUMENTAR EL VALOR Y EL IMPACTO DEL DISEÑO

Manteniendo el principio de diseño básico de que fuera local, el plan de incrementar la producción se centra en la colaboración con los talleres existentes en Kenia y fuera de ella, para que se conviertan en centros locales de fabricación y distribución mediante un enfoque descentralizado. Las investigaciones anteriores del proyecto ilustraron cómo este estilo de enfoque de fabricación distribuida puede ser beneficioso tanto para quienes necesitan una silla de ruedas como para sus comunidades locales, debido a la creación de nuevas oportunidades de trabajo y redes de apoyo. Paralelamente al aumento de la producción, el taller original empezó a recibir una demanda creciente de sillas de ruedas y comenzó a ampliar su capacidad comprando más maquinaria y estableciendo canales de distribución más formales. Los lotes de SafariSeat se empaquetan en cajas y se transportan a socios como proveedores de servicios sanitarios, mientras que las sillas de ruedas individuales se entregan en lugares rurales apartados, utilizando una motocicleta con sidecar (FIGURA 9). Con la intención de ampliar la accesibilidad, los planos del diseño de la silla de ruedas se han puesto a disposi-

4. FROM PROTOTYPE TO PRODUCTION LINE

Iterations of the design were prototyped in a metal workshop belonging to a local charity who manufactured tricycles. Extra attention to precision was required due to the condition and accuracy of tools in the workshop, and like many places in the region, frequent power cuts were encountered which often halted prototyping. Despite this, the workshop was equipped with all the essentials required for prototyping and allowed the SafariSeat team to work alongside a knowledgeable group of local engineers. As the team geared up to increase the scale of production, a larger and more permanent workspace was required, and despite the tight project budget, the decision was made to set up an independent workshop. A local disused abattoir was identified and plans were carried out to convert it into a new workshop, ready for production of SafariSeat wheelchairs to commence (Figure 6).

Three months were spent tweaking the SafariSeat design to maximise the efficiency of production, which substantially reduced how long it took to manufacture and assemble a small batch of the wheelchairs, in the quest for ruthless affordability. The component count of the wheelchair frame was reduced by over 30% from the first prototype and its weight and cost both dropped correspondingly. A production line was set up to streamline manufacturing processes and minimise human error. This required the creation of new workflows and processing stations, component organisation using naming conventions, and improved assembly techniques such as the creation of various jigs to accurately position components for welding (Figure 7). Task books were created to detail the entire manufacturing process in the style of step-by-step instruction manuals, and small batch production runs were conducted to identify bottlenecks, further optimise the design, improve quality control and boost productivity.

Where equipment was too expensive to buy on the limited project budget, the efficiency of manufacture was compromised by adapting processes to work with less expensive tools or techniques, whilst still achieving a high quality finish. For example using a heat gun to melt and cure powder paint rather than purchasing a large oven. To minimise long-term costs, almost all processing facilities were built in the workshop. Where processes or equipment could not be set up in-house, partnerships were formed with specialised local enterprises to use or loan their equipment. When it came to standards testing, the project budget could not sustain outsourcing the process to ISO standard facilities, so the design was instead tested using established simplified methods in-house (Mhatre et al., 2017; Whirlwind International, 2011). Once the design was finalised, more rigorous and accurate test facilities were built to conduct KEBS testing in the workshop.



FIG.8 El equipo de diseño y fabricación en el nuevo taller de sillas de ruedas de kenia.

FIG.8 The design and manufacture team in the new Kenyan wheelchair workshop.



FIG.9 Transporte de una silla de ruedas en sidecar de motocicleta para su entrega en un pueblo apartado.

FIG.9 Transporting a wheelchair by motorcycle sidecar for delivery to an off-road village.

ción en forma de un manual de "bricolaje" o de cómo hacerlo uno mismo, de código abierto, para guiar a quienes dispongan de los fondos, las herramientas y los conocimientos necesarios para fabricar su propia versión del SafariSeat. El manual de bricolaje pretende transmitir un alto nivel de información sobre los materiales necesarios, las herramientas, los procesos de fabricación y las consideraciones de seguridad, de forma coherente, concisa y comprensible. Se trata de un documento independiente en el que se maximiza el uso de imágenes detalladas y se minimiza el uso de lenguaje escrito (en un estilo similar al del manual para el usuario de la figura 5).

Para aumentar aún más el impacto del diseño, se han llevado a cabo proyectos secundarios de investigación y desarrollo para diseñar una variedad de productos complementarios compatibles con el SafariSeat que faciliten las oportunidades de empleo y ayuden a los usuarios potenciales a generar ingresos. La variedad comprende un remolque modular accesible para facilitar el transporte y la venta de una amplia gama de productos, y un espacio de trabajo portátil para facilitar la venta de productos o la realización de manualidades desde la silla de ruedas. Estas oportunidades laborales requieren una capacitación mínima, lo que


significa que los usuarios potenciales de estos productos complementarios tienen una mayor posibilidad de generar rápidamente ingresos para mejorar sus condiciones de vida, y así reducir su probabilidad de experimentar una pobreza prolongada.

7. CONCLUSIÓN E INVESTIGACIÓN FUTURA

Este estudio de caso ofrece un relato reflexivo sobre la metodología de diseño aplicada en el desarrollo de una silla de ruedas todoterreno diseñada en un contexto rural de Kenia, incluidos los principios, prácticas y procesos utilizados. Destaca la necesidad de utilizar materiales, herramientas y métodos de fabricación locales cuando se diseña en un entorno de escasos recursos, así como el valor de contar con una persona local en el equipo para que ayude en las pruebas con los usuarios y en la divulgación a la comunidad. El estudio describe cómo el equipo de diseño abordó la fabricación con un presupuesto muy reducido y la importancia de minimizar los costos a largo plazo al pasar del prototipo a la línea de producción. El estudio también ofrece un breve relato sobre el uso del *crowdfunding* para financiar la investigación y el desarrollo, y da indicaciones sobre cómo encontrar un equipo local que se haga cargo de un proyecto de este tipo. Los principios, prácticas y procesos de dise-

ño documentados a través de este estudio de caso, proporcionan una visión empírica del contexto, con la intención de ayudar a otros que quieran desarrollar productos o servicios con un enfoque similar, o en un entorno parecido, así como a los educadores de diseño que quieran enriquecer la enseñanza en torno a este tema.

AGRADECIMIENTOS

La creación de la silla de ruedas SafariSeat que se describe en este documento ha necesitado de un "pueblo": desde los usuarios finales, las familias, los artesanos, los fabricantes y los diseñadores de sillas de ruedas, hasta los asesores comerciales, los periodistas, los inversionistas y una comunidad internacional de patrocinadores. La autora quiere agradecer a todos los que han apoyado y mostrado su interés por el SafariSeat a lo largo del camino. Para obtener más información y actualizaciones sobre este proyecto de diseño, visite el sitio web de SafariSeat: www.safariseat.org 

5. FUNDING AND FINDING A LOCAL TEAM

The SafariSeat design project was founded by a small group of designers from the United Kingdom, who set out to turn it into a sustainable enterprise to be adopted and managed by locals in Kenya. In order to reach this goal, the team first needed to secure funding to design, prototype, test, and set up facilities. Crowdfunding was chosen as a suitable means of funding the project due to the ability to share a story and vision with a global online community at the same time as publicising the product idea, sharing project progress, and requesting further support from the supporting crowd if needed later on. It was decided from the outset that all founders would work entirely voluntarily on a full-time basis to allow as much budget and time for the research, design and development of the wheelchair as possible. Over \$90k was raised through the crowdfunding campaign, which lasted up until the implementation stage, two years later. By this point, the design was finalised, long-term user

trials had been successfully completed and the design was ready to be manufactured.

An enthusiastic and diligent local was trained up to become the new workshop manager alongside a group of reliable technicians who either joined the team from the tricycle workshop, or were recommended by trusted locals (Figure 8). Finding a local team to take over from the founders marked the beginning of the design being adopted by the community and allowed the founders to take a step back. The first batches of wheelchairs produced in the workshop were donated to individuals through funds raised in the original crowdfunding campaign, however, it was soon realised that despite its low production and sale costs, an unconventional business model was required for the longer-term to make SafariSeat accessible to low-income users and achieve self-sustainability (Polak & Warwick, 2013). A social business development expert was brought on board to help devise a suitable business model involving microfinancing, to make the wheelchair

accessible to those most in need, and to guide the organisation's transition to total sustainability.

6. INCREASING DESIGN VALUE AND IMPACT

Upholding the founding design principle of locality, the plan to scale-up production centres on collaborating with existing workshops across Kenya and beyond, to become local hubs for manufacture and distribution through a decentralised approach. Earlier research in the project illustrated how this style of distributed manufacturing approach can be beneficial to both those in need of a wheelchair as well as their local communities due to the creation of new work opportunities and support networks. In parallel to scaling up production, the original workshop began to receive increasing demand for wheelchairs and started to expand its capacity by purchasing more machinery and establishing more formal distribution channels. Batches of SafariSeat are packed in crates and transported to partners such as healthcare providers,

whilst individual wheelchairs are delivered to rural off-road locations using a motorcycle with sidecar (Figure 9). With the intention of extending accessibility, the wheelchair design blueprints have been made available in the form of an open-source 'DIY' manual, to guide those with the necessary funds, tools and skills, to manufacture their own version of SafariSeat. The DIY manual intends to convey a high level of information regarding the required materials, tools, manufacturing processes, and safety considerations, in a coherent, succinct and understandable manner. This is communicated through a standalone document, which maximises the use of detailed visuals and minimised the use of written language (in a similar style to the user manual in Figure 5).

To further increase the impact of the design, secondary research and development projects have been carried out to design a range of compatible SafariSeat 'add-on' products to facilitate employment opportunities and support the intended users in generating income. The range includes an accessible modular trailer to facilitate transporting and selling a broad


range of produce, and a portable workspace to facilitate vending produce or doing crafts from the wheelchair. Such occupational opportunities require minimal training, meaning the intended users of these add-on products have a greater chance of quickly generating income to improve their living conditions, and thus reduce their likelihood of experiencing prolonged poverty.

7. CONCLUSION AND FUTURE RESEARCH

This case study offers a reflective account of the design methodology applied through the development of an all-terrain wheelchair designed in a rural Kenyan context, including the principles, practices and processes used. It highlights the need to utilise local materials, tools, and manufacturing methods when designing in a low-resource setting, as well as the value of having a local person in the team to assist with user testing and community outreach. The study describes how the design team approached manufacturing with a very small budget and the importance of minimising long-term costs when moving from prototype to production line. The study also offers a

brief account of using crowdfunding to finance research and development, and gives pointers about finding a local team to take over such a project. The design principles, practices and processes documented through this case study provide empirical contextual insights, intended to help others who seek to develop products or services using a similar approach, or in a similar setting, as well as design educators seeking to enrich teaching around this subject.

ACKNOWLEDGMENTS

It took 'a village' to create the SafariSeat wheelchair described in this paper; from end users, families, craftspeople, manufacturers and wheelchair designers, to business advisors, journalists, investors and an international community of supporters. The author would like to thank everyone who has supported and shown an interest in SafariSeat along the way. For more information and updates on this design project, please visit the SafariSeat website: www.safariseat.org 

REFERENCIAS / REFERENCES

- Banks, M., Kuper, H. & Polack, S. (2018). *Poverty and Disability in Low- And Middle-Income Countries: A Systematic Review*. San Francisco: Plos One.
- Constantine, D., Hingley, C. & Howitt, J. (2006). *Donated wheelchairs in low-income countries - issues and alternative methods for improving wheelchair provision*. Liverpool: IET Conference Proceedings.
- Costanza-Chock, S. (2020). Design Narratives: From TXTMob to Twitter. *Design Justice*. <https://design-justice.pubpub.org/pub/0v6035ye/release/1>
- Department for International Development (2018). *DFID's Strategy for Disability Inclusive Development*. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/760997/Disability-Inclusion-Strategy.pdf
- Gulliver, A., Gibbon, D., Diouf, J. & Dixon, J. E. (2001). *Farming Systems and Poverty; Improving Farmers' Livelihoods in A Changing World*. Rome: FAO & the World Bank.
- GDI Hub & Partners for UK Department for International Development (2018). *Scoping Research Report On Assistive Technology On The Road For Universal Assistive Technology Coverage*. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5d1f5a2fed915d0bbba6bf15/AT_Scoping_Report-Final.pdf
- Mhatre, A., Martin, D., McCambridge, M., Reese, N., Sullivan, M., Schoendorfer, D., Wunderlich, E., Rushman, C., Mahilo, D. & Pearlman, J. (2017). Developing product quality standards for wheelchairs used in less-resourced environments. *African journal of disability*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5594264/>
- Polak, P. & Warwick, M. (2013). *The Business Solution To Poverty: Designing Products and Services For Three Billion New Customers*. Oakland: Berrett-Koehler Publishers.
- United Nations (2021). *The 17 Sustainable Development Goals*. The United Nations. <https://sdgs.un.org/goals>
- Whirlwind Wheelchair International (2018, August 18). *Simplified Strength Testing of Manual Wheelchairs*. Whirlwind Wheelchair. <https://whirlwindwheelchair.org/articles/simplified-strength-testing-of-manual-wheelchairs/>
- World Health Organization (2018). *Assistive Technology*. WHO. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology>