

## CAPÍTULO 3

# Johannesburgo (Sudáfrica): el legado de la explotación aurífera

*María Cristina Zilio y Gabriela Mariana D'Amico*

### Johannesburgo, la ciudad que surgió de las entrañas de la tierra

Hace 140 años, las tierras hoy ocupadas por Johannesburgo (Sudáfrica) eran unos campos de pastoreo. Hoy es el centro financiero y económico más importante del país. En 1886, se descubrió el principal filón de **oro** en las **sierras de Witwatersrand**. En cuestión de semanas, esas tierras se cubrieron de miles de tiendas de campaña. La fiebre del oro generó un crecimiento tan vertiginoso que, ese mismo año, el *Standard Bank*<sup>49</sup> abrió sucursales en el lugar (Amphlett, 1914, p. 109). En la primera década minera ya vivían 40 000 habitantes (Schmieder, 1955, p. 624) y, actualmente, se acerca a los seis millones de personas. Se suele pensar equivocadamente que Johannesburgo es la capital de Sudáfrica<sup>50</sup>. Joburg, Jozi o JHB, como se la conoce popularmente, es la capital de Gauteng (“lugar de oro”), la más pequeña y más densamente poblada de las nueve provincias de Sudáfrica. Hasta la reforma de 1994, estas tierras formaban parte del Transvaal, una provincia mucho más extensa.

Con una orientación este-oeste, las sierras de Witwatersrand sobresalen con fuerte inclinación sobre una masa de granito, unos 300 metros por encima de la ciudad (Schmieder, 1955, p. 615). Pero, cabe aclarar, las geofomas actuales son el resultado de la actividad antropogénica en las minas profundas (figura 1). A lo largo de este filón de oro o *rand*<sup>51</sup> (arrecife o *reef*, para los mineros) se extienden unas 270 escombreras o vertederos y, en los valles vecinos, se han formado lagos con el agua que es bombeada desde las minas<sup>52</sup> (Olalde, 2015).

---

<sup>49</sup> Banco internacional fundado en Sudáfrica. Actualmente se encuentra en numerosos países. En la Argentina, funcionó una sucursal entre 2007, cuando Standard Bank compró el Bank of Boston, y 2013, cuando fue adquirido por el ICBC.

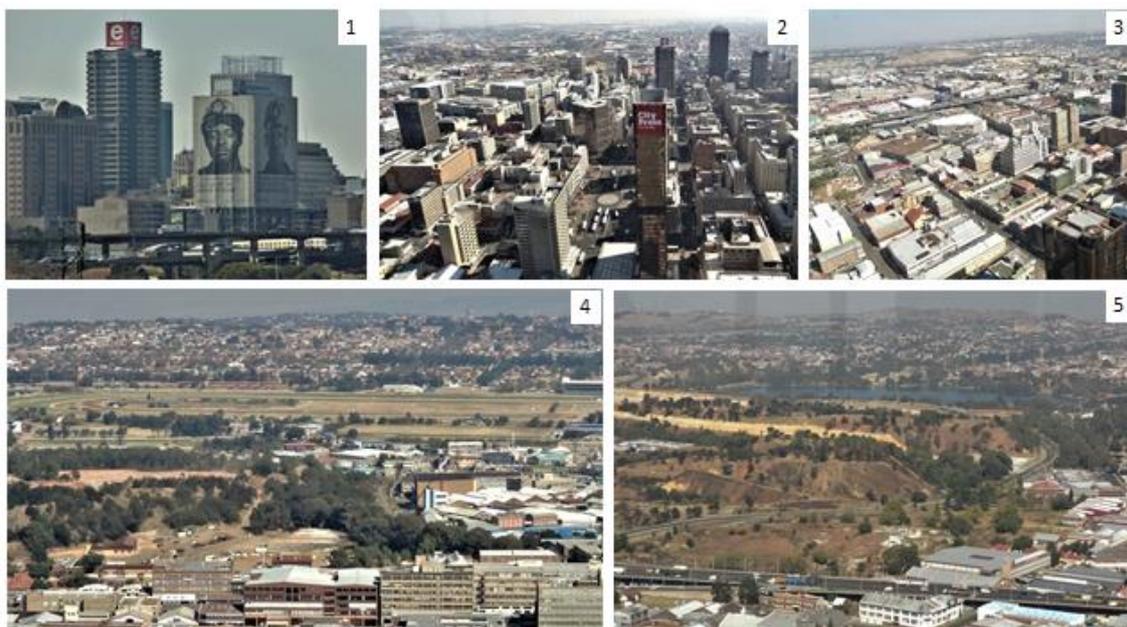
<sup>50</sup> Sudáfrica posee tres ciudades capitales oficiales: Pretoria, sede del poder ejecutivo; Bloemfontein, sede del poder judicial, y Ciudad del Cabo, sede del poder ejecutivo.

<sup>51</sup> La moneda sudafricana fue nombrada “*rand*”, en 1961, como reconocimiento a este lugar.

<sup>52</sup> Estos depósitos de agua son el resultado de la construcción de obras de infraestructura de minas conocidas como “diques de cola”.

Casi la mitad del oro del mundo se encontraba en esta área, pero el progresivo agotamiento de los yacimientos más superficiales obligó a las compañías a profundizar en las minas. Al dispararse los costes sólo pueden explotarlos las grandes mineras, cerrando el camino a las compañías más pequeñas. Desempleo, inseguridad, prostitución, tráfico de personas, minería ilegal son algunos de los conflictos actuales, en parte relacionados a la economía, en parte a la sombra del *apartheid*, un sistema de segregación racial legalmente terminado pero culturalmente vigente. En este capítulo, desde la Teoría Social del Riesgo (TSR), nos proponemos identificar las cuatro dimensiones del riesgo asociado a la explotación aurífera.

**Figura 1. Johannesburgo**



*Vistas de la ciudad desde el piso 50° del Carlton Center - edificio de oficinas y hotel abandonados-, excepto la imagen (1). Arriba: zona céntrica. Abajo: las escombreras atraviesan la ciudad de este a oeste. En la imagen (5) también se observa un lago artificial. Fotografías: María Cristina Zilio (2012).*

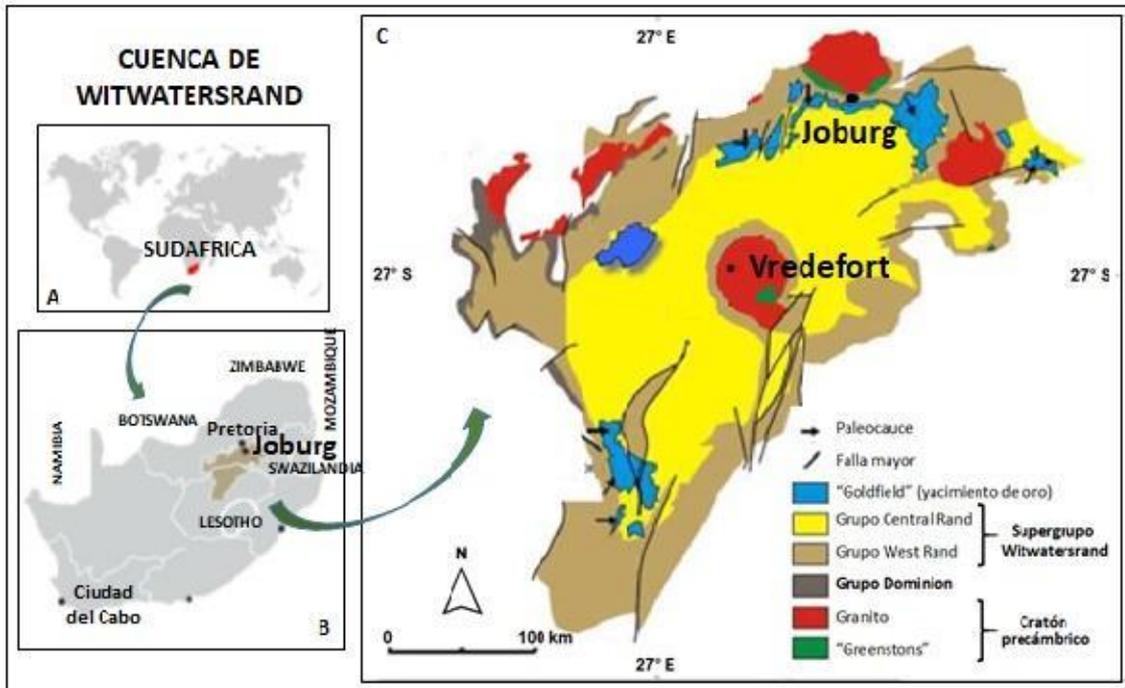
## Hurgando en el pasado geológico

El área de estudio comprende el área metropolitana de Johannesburgo. Se desarrolla a unos 1700 m s.n.m., en el *Highveld*, las “tierras altas” sudafricanas. Con una temperatura media anual de unos 17°C, recibe unos 750 mm de precipitaciones en el mismo período temporal. El área céntrica es prácticamente plana, mientras que los suburbios del norte se desarrollan sobre colinas. Inmediatamente al sur del centro, la conurbación es atravesada, de este a oeste, por el Witwatersrand. Esta sierra baja, rica en oro, actúa como línea divisoria de aguas entre un afluente del Orange, que desagua en el Atlántico, y el Limpopo, que alcanza el Índico.

Para comprender la presencia del oro, es imprescindible repasar brevemente la evolución geológica de la cuenca de Witwatersrand. En la figura 2, de manera simplificada, se observan las unidades estructurales, drásticamente alteradas por el impacto del asteroide en Vredefort.

Sobre el cratón de Kaapvaal, un basamento precámbrico<sup>53</sup> formado por granito y *greenstone*<sup>54</sup> (más de 3000 Ma), se encuentran sedimentos antiguos del grupo Dominion y del supergrupo Witwatersrand, cubiertos por las extensas lavas del grupo Ventersdorp (Mantilla Figueroa *et al.*, 1999, p. 131). El supergrupo, compuesto por los grupos West Rand y Central Rand (el 95% del oro se obtiene en este último), está formado por sedimentos detríticos intercalados con conglomerados de pequeños clastos de **cuarzo aurífero**, cementados en una matriz de arena de cuarzo, pirita y otros minerales de sulfuro y óxido (Naicker *et al.*, 2003, p. 29).

**Figura 2. El cráter de impacto de Vredefort y el oro de Johannesburgo**



Fuente: modificado de Nwaila *et al.* (2013, p. 77) por María Cristina Zilio.

## El oro y la explotación aurífera

El oro es un mineral compuesto por un elemento nativo (Au: del latín *aurum*). Es maleable y dúctil, buen conductor eléctrico y térmico, no se corroe ni se empaña. Si bien se destaca por su elevada densidad, 19,3 g/cm<sup>3</sup>, es muy blando (dureza 2,5-3 en escala de Mohs) y se suelen realizar aleaciones con otros metales para endurecerlo. Las aleaciones con cobre le otorgan un

<sup>53</sup> Ver su ubicación temporal en el cuadro de eras geológicas en Capítulo 2. *El Antropoceno: el precio de la tecnología*.

<sup>54</sup> También conocida como "verdita", por su color verde, es una roca metamórfica (no un mineral), compuesta principalmente por una variedad de muscovita y material arcilloso. Su color verde se debe a la presencia de cromo. A veces se la conoce como "jade africano", pero apenas tiene dureza 3 por lo que es muy utilizada para tallar pequeñas figuras de animales.

color rojizo. Mezclado con plata o platino se lo conoce como “oro blanco”. Los objetos de joyería de oro están obligados por ley a llevar un sello que indique los quilates<sup>55</sup>, es decir, la proporción de oro puro en una aleación (por ejemplo, oro 18 quilates significa 18/24 de pureza o 18 partes de oro con 6 partes de otro metal).

No se sabe con certeza porque el oro está allí. Las dos teorías más reconocidas son el depósito de placeres y el origen hidrotermal postdeposicional (Mantilla Figueroa *et al.*, 1999, p. 131). El primero tiene que ver con el polvo y las pepitas liberados por la erosión de vetas y rocas, para luego ser conducidas y concentradas por el agua, junto con arenas y gravas, en los cauces fluviales. En particular se cree que se podría tratar de “paleoplaceres”, asociados a paleocauces, es decir, antiguos cauces fluviales abandonados. En el segundo caso, la mineralización es producto del ascenso de fluidos calientes, por fallas y fracturas, que enriquecieron la cuenca mucho después de la consolidación de las rocas.

El valor monetario del oro depende en gran parte de su **escasez**. Una mina puede lograr una alta rentabilidad extrayendo 10 gramos de **mineral** cada 1000 kilogramos de **ganga**<sup>56</sup> (Zhang, 2013). Todo el oro extraído a lo largo de la historia suma unas 171 000 t -cantidad que podría llenar dos piscinas olímpicas- y quedarían unas 51 000 toneladas de reservas probadas sin extraer (Mueller, 2012).

La explotación se inicia en Johannesburgo a pico y pala y en pequeña escala, pero pronto quedó bien claro que la amalgama con **mercurio** solo se podría utilizar hasta los 30 o 40 m de profundidad. Más abajo estaba tan inserto en la matriz de pirita que solo se podía liberar utilizando grandes cantidades de **cianuro** (Naicker *et al.*, 2003, p. 29). A esto se sumaba el necesario uso de **dinamita** para extraer rocas muy profundas. Estos procesos estimularon la fusión de las pequeñas empresas y, seis años después del descubrimiento, sólo quedaban ocho empresas mineras controlando toda la minería del oro en el Witwatersrand.

## Y un día, el oro se terminó

Desde su descubrimiento, se produjeron 45 000 t de oro, lo cual representa 40% de todo el oro producido en el mundo. Las operaciones mineras bajo el área urbana de Johannesburgo continuaron hasta la década de 1960, pero al llegar a 2500 m de profundidad se volvieron poco rentables. La mayor producción sudafricana se registró en 1970, con 1000 t. Desde entonces, ha

---

<sup>55</sup> El concepto quilate es diferente en gemología (unidad de peso de los diamantes, perlas y otras gemas).

<sup>56</sup> Una roca que contiene cantidad suficiente de metal para que su extracción merezca la pena recibe el nombre de mena. Está formada por dos partes: el mineral (especie de interés económico) y la ganga (parte sin interés). La riqueza de una mena depende de la ley del mineral.

caído de 210 t, en 2010, a 130, en 2018. Hasta 1983 se explotaban **menas** con una **ley**<sup>57</sup> promedio de 10 g/t (Pedraza, 2019a; Naicker *et al.*, 2003, p. 29). En 1970, el país producía más del 75% del oro mundial, pero ese porcentaje fue descendiendo: 30% (1993); 15% (2002) y 3,7% (2018). Actualmente, no se encuentra entre los 10 primeros ni es el mayor productor del continente africano, ya que fue desplazado por Ghana (Pedraza, 2019b).

A nivel mundial, la industria minera está atravesando por un momento complejo. El precio de las materias primas ha disminuido notablemente hasta 2019, en algunos casos entre un 30 y un 40%. Este panorama ha golpeado fuertemente a Sudáfrica, a lo que se suma la falta de competitividad del rubro -muchas de las minas son muy antiguas y muy profundas-, el incremento del precio de la energía eléctrica, la conflictividad social y la baja productividad (Tapia, 2017; Pedraza, 2019a).

## Peligrosidades

El oro en sí mismo no acarrea ninguna peligrosidad, pero existen innumerables peligros -tanto individuales como ambientales-, asociados a su explotación, ya sea abajo o arriba de la superficie. Coincidentemente con la clasificación de Natenzon (2015, p. XIII), estas amenazas son complejas y, además, la sinergia entre las mismas genera una peligrosidad amplificada. Bajo la ciudad y sus suburbios, a lo largo de unos 40 km, se encuentra “**el vacío**”, una gigantesca cavidad subterránea. Los materiales extraídos son depositados en el exterior, dando origen a los **vertederos** o **escombreras**, geofomas antrópicas de considerable tamaño. Se han identificado peligrosidades en las minas subterráneas, en las escombreras, en minas abandonadas y en las aguas. Estadísticas de la Cámara Minera de Sudáfrica señalan que, en 2013, las empresas mineras produjeron 562 000 veces más residuos que oro, cifra muy superior al doble de la producida diez años antes -212 000 veces- (Tapia, 2017).

En primer lugar debemos referirnos a la **peligrosidad en las minas subterráneas**. En el interior de la mina, los mineros pican, arrancan y barrenan para poder acceder y extraer las rocas. Este material debe ser transportado a la superficie para refinarlo y obtener el concentrado del

---

<sup>57</sup>La ley de un mineral, expresada en %, es la concentración que una roca presenta del mineral de interés económico. Un porcentaje inferior a valores establecidos -varía de un mineral a otro-, determina que una explotación sea económicamente no rentable con la tecnología conocida y disponible.

mineral. La infraestructura incluye una red de pozos, galerías y cámaras conectados con la superficie. En Johannesburgo, si bien el gradiente geotérmico<sup>58</sup> es más bajo que el promedio mundial, la profundidad determina que las rocas se puedan encontrar a más de 55°C. Gigantescos sistemas de ventilación bombean hielo mezclado con sal para refrigerar y bajar la temperatura ambiente a valores cercanos a 28°C (Zhang, 2013). También deben disponer de servicios de electricidad y agua potable así como de desagües y bombas para el agua subterránea que se filtra y un sistema de comunicación.

La mayoría de los trabajos son duros y no es sencillo garantizar la seguridad de los trabajadores. Entre las peligrosidades, que se incrementan con la minería ilegal, podemos enumerar: 1) sismicidad inducida, por uso de explosivos; 2) perforación accidental de acuíferos (puede ser mortal para los mineros -tanto por la temperatura como por el volumen de agua- e, incluso, podría marcar el final de la explotación); 3) accidentes (hundimientos, explosiones, accidentes personales); 4) incendios (metano, maderas, combustibles); 5) intoxicación por monóxido de carbono, exposición al polvo, al ruido y a excesivas temperaturas, etc.

Por ejemplo, la mina de Tau Tona, al igual que la de Mponeng, ha alcanzado casi los 4 km de profundidad. Un viaje desde la superficie a la veta más alejada puede llevar unas dos horas de ida. Trabajan unas 5600 personas y cuenta con más de 800 km de galerías. Para conseguir 1600 kg/mes de oro, hay que extraer y procesar 140 000 t de rocas, utilizando 5 t diarias de explosivos. Se registran unas cinco muertes anuales y unos diez movimientos sísmicos cada día (Revista Vector, 2019).

La **peligrosidad en las escombreras** tiene que ver con el material extraído de las profundidades. Ya en superficie, es sometido a distintos procesos de concentración de minerales y, luego, el relave<sup>59</sup> es transportado a numerosos vertederos o escombreras (figura 3). Muchas de estas geoformas, intactas durante casi un siglo, han estado expuestas a la meteorización (Naicker *et al.*, 2003, p. 30). Cuando llueve, estos desechos acidifican el agua que se filtra a través de las escombreras y luego penetra en el acuífero. Cuando sopla el viento, vuelan el polvo y las sustancias tóxicas cubriendo las construcciones, especialmente los barrios pobres y mayoritariamente negros, que son los más cercanos (Olalde, 2015).

La creciente demanda internacional del oro, debido a su elevada cotización y al hecho de que sea utilizado en épocas de crisis como activo financiero de referencia, ha hecho posible que yacimientos prácticamente extinguidos y con rendimientos muy pobres (de incluso menos de 1 g/t), sean explotadas a través de técnicas de lixiviación<sup>60</sup> con cianuro. Este proceso ha sustituido a la recuperación del oro mediante amalgama con mercurio, ineficiente en comparación y, actualmente, prohibido en muchos países por los graves efectos que provoca a nivel ambiental y

---

<sup>58</sup> El gradiente geotérmico es el aumento de la temperatura con la profundidad. En promedio, el aumento es de 3° C cada 100 metros de profundidad.

<sup>59</sup> El relave es el sólido finamente molido que se descarta en operaciones mineras. Aunque en muy bajas cantidades, puede contener oro.

<sup>60</sup> Proceso a través del cual, el disolvente elegido (mercurio o cianuro) separa las partes solubles de las insolubles del mineral.

sanitario. El cianuro permite recuperar más de un 97% del oro, frente al 60% que permitía la extracción con mercurio (IAgua, 2013).

**Figura 3. Escombreras o vertederos de Joburg**



La imagen satelital -modificada de Google Earth Pro- (1) y la fotografía aérea (3) permiten comparar el tamaño de una escombrera con el Estadio Soccer City -Mundial 2010 (capacidad 94 mil personas)-. La fotografía (2) muestra escombreras visibles desde el camino de circunvalación. Fotografías: María Cristina Zilio (2012).

La **peligrosidad en minas abandonadas** es una problemática más reciente. El cierre de las minas, por agotamiento de oro, implica que las bombas dejen de extraer el agua del “vacío”. Millones de litros de agua subyacen en la ciudad y están ascendiendo 15 metros por mes, pero reacciones químicas con las rocas y con los restos de la explotación producen ácido sulfúrico, metales pesados, toxinas y radiación. Los expertos advierten que pronto será demasiado tarde para construir las bombas y plantas de tratamiento de agua necesarias (Herskovitz, 2011).

Esta agua, un legado tóxico procedente de las minas, eventualmente contaminará algunas de las principales fuentes de agua potable de Johannesburgo, por eso debemos hablar de la **peligrosidad de las aguas**. Técnicamente, el escurrimiento contaminado por una reacción química entre el aire, el agua y las rocas sulfurosas se conoce como drenaje ácido. Se han registrado muertes y enfermedades en animales del área. Los suelos están severamente contaminados por metales pesados debido al ascenso capilar y la evaporación del agua subterránea. A comienzos de siglo, el 20% de agua alrededor de la ciudad ya procedía de aguas subterráneas contaminadas, en parte, por las minas (Naicker *et al.*, 2003, p. 40). En los suburbios del oeste de Johannesburgo, el agua tóxica ya comenzó a filtrarse (Herskovitz, 2011). El drenaje minero de ácido es común en las minas abandonadas de todo del mundo, como vemos en la figura 4, pero no llama la atención porque suele afectar zonas remotas. En este caso, la ciudad fue construida sobre sus minas de oro (Herskovitz, 2011).

**Figura 4. Drenaje ácido**

*Arroyo de aguas ácidas provenientes de la abandonada mina La Carolina (San Luis, Argentina), una problemática común en las áreas mineras. Fotografía: María Cristina Zilio (2011).*

## Exposición y vulnerabilidades

La exposición tiene que ver con lo que está frente al peligro. Johannesburgo es la ciudad más poblada del país y la capital de la provincia de Gauteng. Con el 1,5% de superficie en relación al total del país, según el censo de 2016, contaba con unos 13 millones de habitantes, casi 5 millones de hogares y 769 habitantes/km<sup>2</sup> (Stats SA, 2016). Solo el 5% de los hogares pertenece a familias de agricultores. Gauteng produce un tercio del PBI (Rodríguez, 2013), siendo la minería y los servicios la base de la economía. La aglomeración urbana de Joburg tenía 5 486 000 habitantes en 2018 (United Nations, 2018). Si bien ya no hay explotación aurífera dentro de los límites de la ciudad, las compañías mineras mantienen allí sus oficinas centrales.

Como hemos visto al hablar de la Teoría Social del Riesgo<sup>61</sup>, la exposición se expresa territorialmente como construcción histórica en la que se combinan los procesos naturales y las relaciones socioeconómicas configurando asentamientos humanos y usos del suelo (Natenzon, 2015; p. XVI). Para el historiador Ross (2006, pp. 1-3), Sudáfrica es el resultado de las interrelaciones entre los distintos aspectos que han forjado su pasado: 1) como **país africano**: las estructuras sociales y las formas de pensamiento de las sociedades africanas pre-coloniales siguen marcando su presente; 2) como **antigua colonia**, su configuración quedó determinada por holandeses y británicos; 3) su desarrollo económico está marcado por **organizaciones capitalis-**

<sup>61</sup> Ver Capítulo 1. *Teoría Social del Riesgo: de la ira divina a la explicación ambiental.*

**tas**, como la Compañía Holandesa de las Indias Orientales; 4) **predominio cristiano** y 5) **descubrimiento de minerales**, en particular oro y diamantes. Esta combinación ha forjado una nación pero no ha podido homogeneizar su cultura. En la “nación arco iris”, como la soñó Nelson Mandela, coexisten once lenguas oficiales. Sudáfrica también es un producto de las prácticas del **apartheid** (del afrikáans, “separación”). Aunque oficialmente esta política empezó en 1948 -y se aplicó hasta principios de los 90-, sus leyes buscaban institucionalizar los privilegios que la población blanca había heredado de la colonización británica y neerlandesa<sup>62</sup>.

En el caso particular de Joburg, su origen minero determinó que, en sus comienzos, tuviera una mayoría abrumadora de varones. Por ejemplo, en 1898, había 1 mujer cada 98 hombres de 25 a 34 años. Esta situación alimentó peleas, alcoholismo y prostitución, ofreciendo oportunidades de enriquecimiento menos lícitas -gestión de redes de prostitución o el robo a los mineros cuando salían de la ciudad con sus ganancias de meses- (Ross, 2006, pp. 70-71).

La **explotación aurífera** supuso un enorme incremento de la demanda de mano de obra. Unos pocos años antes del descubrimiento del oro en Joburg, se había descubierto una mina de diamantes en Kimberley. Ambas explotaciones competían por los trabajadores, que provenían tanto del subcontinente como de Europa. Ambos grupos se veían atraídos por los altos salarios que se pagaban, por los que estaban dispuestos a afrontar los peligros que corrían (Ross, 2006, p. 69). Los productores de diamantes podían formar cárteles y monopolios para elegir su precio, en cambio, los productores de oro no tienen un control sobre su precio porque era, y sigue siendo de alguna medida, una garantía del sistema monetario del mundo capitalista, por lo que para aumentar sus beneficios debían bajar sus costes. A partir de 1895-97, las empresas mineras comenzaron a rebajar los salarios que pagaban a los mineros negros, respaldadas por el estado de Transvaal (Ross, 2006, pp. 69-70).

Si bien podrían haber contratado mineros blancos, en los primeros años los propietarios de las minas no solían elegirlos porque sus salarios debían ser mayores debido a la presión política que ejercían los blancos (Ross, 2006, p. 82). La falta de mano de obra estimuló la llegada de chinos para trabajar como obreros no calificados. Dentro de las minas hubo que llegar a un acuerdo con los obreros blancos. Como resultado final de esas diferencias, se estableció una división muy marcada del trabajo: los empleados especializados y supervisores serían exclusivamente blancos y los obreros no calificados, africanos o chinos (Ross, 2006, p. 82).

Según un informe de la Cámara de Minas en 2016, hay organizaciones criminales involucradas con la minería ilegal, en la que trabajan más de 14 000 personas (AiSur, 2016).

---

<sup>62</sup> En 1833, se abolió la esclavitud en Sudáfrica y, en 1961, se independizó de Reino Unido, pero la relación de dominación nunca desapareció y el poder estuvo siempre en manos de los blancos (Fernández, 2019). Establecía un sistema desigual que otorgaba privilegios a la minoría blanca y discriminaba a la población no europea. En la década de 1980-90 había una gran tensión social en este país, la población negra reclamaba la igualdad. Tras ser liberado, Nelson Mandela colaboró con el gobierno para acabar con este sistema discriminatorio. Después de pasar 27 años preso, Mandela en lugar de promover el odio y rencor hacia los blancos, lanzó un mensaje de paz y reconciliación para unir a toda la población sudafricana.

Teniendo en cuenta lo ya expuesto al referirnos a la exposición y, siguiendo a Wilches-Chaux (1993, pp. 24-39), hemos desglosado la vulnerabilidad global aunque no hemos seguido literalmente sus componentes.

Comenzamos con la **vulnerabilidad social**. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2020, p. 393), con estadísticas de 2019, posiciona a Sudáfrica en el puesto 114 de 189 países. Tiene un Índice de Desarrollo Humano alto (0,709) pero con profundas diferencias internas, tal como indica el IDH por desigualdad (0,468). También es visible una acen- tuada disparidad en la esperanza de vida al nacer, según datos del Banco Mundial (2020), entre las mujeres (68 años) y los varones (61 años). Estos valores bajos se asocian, por ejemplo, con una elevada tasa de mortalidad infantil en menores de 5 años (32,2‰) y un enorme porcentaje de la población de entre 15 y 49 años que vive con VIH (19,1%). Además, la población cercana a los vertederos sufre problemas de salud como sarpullidos, asma o cáncer, pero la falta de estudios epidemiológicos locales ha hecho imposible que esta gente pueda demandar a las com- pañías mineras. Otro riesgo es la silicosis<sup>63</sup>. Conjuntamente con los metales pesados y otras sustancias contaminantes, la exposición constante a grandes cantidades de baja radiación puede tener también efectos a largo plazo (Olalde, 2015).

Con respecto al acceso al agua por cañerías, en la provincia de Gauteng, el 60% la recibe en el interior de la vivienda; el 30% la recibe en un patio interior; casi un 8% tiene el acceso fuera de la casa y 2,5% carece de acceso al suministro de agua potable (Stats SA, 2016),

Sudáfrica posee una de las mayores reservas de minerales a nivel mundial, y cuenta con la industria más desarrollada y diversificada del continente africano. En 2017, operaban 1758 minas en el país pero la minería representaba el 8% del PIB, un porcentaje cada vez menor a medida que la economía se va diversificando (Tapia, 2017). Pese a este desarrollo, debemos hablar de **vulnerabilidad económica**. Integrante del BRICS<sup>64</sup> desde 2011, es uno de los países con más desigualdades sociales y económicas del mundo. Más de la mitad de sus casi 60 millones de habitantes vive debajo de la línea de la pobreza y Joburg no es la excepción. El 78% de la po- blación sudafricana es negra y acumula el 28% de los ingresos, mientras que el 9% de la minoría de origen europeo posee el 61% de la riqueza (Banco Mundial, 2020). Posee 38 400 millonarios -con más de un millón de dólares-, de los cuales, el 42,4% se concentra en Joburg (New World Wealth, 2020, pp. 4 y 10). Prácticamente un 17% de los hogares no ha tenido ingresos económi- cos fijos en el censo de 2016 (Stats SA, 2016). Cuando Mandela llegó a la presidencia (1994- 1999), logró una transición pacífica de su país hacia una democracia moderna pero, al alejarse, las tensiones sociales se acumulan a la sombra de las políticas de exclusión (Riva, 2013). Su

---

<sup>63</sup> Enfermedad pulmonar crónica de los mineros, generada por la sílice que compone las rocas. Al molerlas, el polvo afecta la piel y el sistema respiratorio. Controlada por la minería legal, reapareció con la clandestinidad (Ross, 2006).

<sup>64</sup> La sigla BRICS (Brasil, Rusia, India, China, Sudáfrica) comprende un conjunto de países con economías emergentes.

índice de Gini<sup>65</sup> es el mayor del mundo, 0,63 (2010-2018), visibilizando la desigualdad económica de la sociedad (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2020, p. 393).

Proponemos hablar de **vulnerabilidad “étnica”**, ya que las diferencias económicas se corresponden con diferencias raciales. La composición de los hogares está conformada por 80,61% de negros africanos; 9,85% de blancos; 7,21% de “*coloured*” y 2,31% de indios/asiáticos (Stats SA, 2016), Testimonio de una época de discriminación supuestamente superada, el censo tiene en cuenta la clasificación de la población realizada en tiempos del *apartheid*. Los *coloured* son el más heterogéneo de los grupos étnicos y está compuesto por personas mestizas con ascendencia afrikáner, negra, bosquimana y de los esclavos malayos traídos por los holandeses en los primeros tiempos (Gascón, 2018).

Si bien la vulnerabilidad física tiene que ver con la exposición y ya nos hemos referido específicamente a ella, es pertinente analizar las diferencias de los sectores desde esta mirada. La **vulnerabilidad física diferencial** está asociada con las relocalizaciones en las distintas áreas de la ciudad asociadas al desempleo por cierre de empresas mineras y por las políticas públicas de desegregación racial pos-*apartheid*. Alrededor del centro de Johannesburgo, la ciudad se fue expandiendo con características distintivas. Siguiendo a Bénit (2002), podemos hablar de desdensificación de la zona antigua, desplazamiento de las clases más acomodadas (que ahora también incluye a algunos “no-blancos”) hacia el norte, sobrepoblación de los *townships* (territorios reservados a “no-blancos”) y asentamientos ilegales sobre los vertederos.

El centro histórico estaba ocupado por los blancos. Cuando terminó el *apartheid*, la mayoría de las empresas movieron su sede a suburbios del norte, las antiguas oficinas fueron ocupadas por miles de personas sin recursos y se transformó en el barrio más peligroso de Johannesburgo, famoso por su elevada criminalidad<sup>66</sup>. En algunos sectores se está registrando un proceso de gentrificación<sup>67</sup>, de la mano de desarrollos urbanos.

Algunos de los suburbios del norte crecieron cuando llegaron las personas con más recursos económicos –predominantemente blancas-, como Sandton, la “milla de oro” de África, donde se trasladó la Bolsa de Comercio (Rodríguez, 2013). Concentra las grandes empresas y los complejos comerciales. Es la zona más segura. En el trayecto desde el centro, a solo 10 km, se observan mansiones protegidas con vallas enormes y electrificadas así como autos de alta gama.

Los suburbios del sur, próximos al *reef* principal, son distritos residenciales de la clase baja. Eran verdaderos guetos construidos en las zonas en que no querían vivir los blancos, -terrenos cercanos a plantas eléctricas, fábricas y minas-. Allí eran obligados a vivir los negros, los indios y los *coloured*. El más reconocido es el *Soweto* (abreviatura de *South Western Township*), cuna de Mandela y del arzobispo Desmond Tutu, dos premios nobel de la paz.

---

<sup>65</sup> El Índice de Gini 0 representa la máxima igualdad, mientras que el índice 100 implica la máxima desigualdad.

<sup>66</sup> La historia de Sudáfrica es intrínsecamente violenta, con una tasa de criminalidad 4,5 veces mayor a la de la media mundial, con 42 asesinatos diarios y la violación de una mujer cada 17 segundos, según datos de 2012 (Riva, 2013).

<sup>67</sup> Proceso de reconversión de zonas urbanas, generalmente deterioradas, que va acompañado del desplazamiento de su población original por parte de otra de mayor poder adquisitivo.

Por su parte, Tudor Shaft es un asentamiento ilegal situado en parte sobre un antiguo vertedero. Unas 1800 personas viven en chabolas, afectadas por cortes de luz y de agua y tiroteos, mientras los niños nadan en los charcos de agua del lugar (Olalde, 2015).

También podemos hablar de una **vulnerabilidad diferencial de los trabajadores**. En primer lugar, debemos hablar de los trabajadores legales, contratados por empresas mineras legales. Al referirnos a la peligrosidad en las minas subterráneas, hemos enumerado algunos de los muchos peligros latentes a los que están expuestos. Los otros dos grupos involucran actividades ilegales: los “*zamazamas*” (del zulú: “intentan y vuelven a intentar”) trabajadores independientes que buscan oro en las minas abandonadas o sobre la superficie, y los esclavos de la modernidad, capturados por las mafias. Si bien es una actividad tradicionalmente masculina, también hay cientos de mujeres que trabajan de forma ilegal, expuestas a violencia y abusos sexuales (Clark, 2019). Como esclavos, cada año, cerca de 2000 mineros son capturados y vendidos por despiadadas organizaciones criminales en los países vecinos u, otras veces, se les promete un trabajo decente en Joburg. La duración de su cautividad puede variar de dos hasta ocho semanas, y durante ese tiempo los mineros no reciben ningún salario, sólo comida. Casi sin medidas de seguridad, permanecen como mínimo 15 días bajo tierra, donde, incluso, reciben visitas de prostitutas. Al regresar, con bolsas de oro atadas alrededor del cuello, a veces se encuentran con bandas rivales que tratan de secuestrarlos o de robarles (Mwareya, 2014). Las áreas urbanas se han llenado de criminales que fomentan la prostitución infantil, el contrabando de armas y la venta ilegal del mineral.

Considerando las conceptualizaciones de Romero y Maskrey (1993, p. 9), podemos pensar que los yacimientos mineros legales se caracterizan por una **vulnerabilidad progresiva**, consecuencia de la profundización de las instalaciones -por agotamiento de los recursos- como por envejecimiento de las instalaciones, pero las explotaciones ilegales tienen, además, una **vulnerabilidad de origen**, ya que carecen de medidas de seguridad desde el primer momento.

## Incertidumbres

En este caso particular, consideramos que las incertidumbres técnicas se imbrican de tal manera con las sociales que se hace difícil diferenciarlas. Debido a la centenaria tradición minera de Johannesburgo, existe conocimiento de los peligros propios de esta actividad. Sin embargo, el riesgo del agua ácida que viene ascendiendo así como el incremento de actividades mineras ilegales, generan incertidumbres técnicas respecto del futuro de la ciudad. Por ejemplo, la instalación de dos estaciones de bombeo y tratamiento, para mantener el agua al menos a 300 metros de profundidad, podría realizarse pero es costosa. El problema es quién se hace cargo de los gastos. Por ley, las empresas que trabajan o trabajaron en estas minas están obligadas a reservar suficiente dinero en fondos fiduciarios para mitigar (limpiar durante) y remediar (limpiar después) una vez que finalicen la explotación activa. Si una empresa cierra la mina, el gobierno puede tomar este dinero y reducir cualquier impacto heredado, sin embargo, el Ministerio de Recursos Minerales maneja un listado de 6000 minas “abandonadas y sin propietario” y solo

rehabilita una decena al año. Como dice Olalde (2015), en algún momento, este sistema falló. Pese a que así lo exigen las leyes mineras sudafricanas, muy pocas empresas han cumplido con sus obligaciones de reparación (Gascón, 2018).

La normativa sobre el cierre de minas está a punto de ser revisada y los expertos creen que esto podría reducir los problemas de contaminación. Los habitantes de Johannesburgo deben tomar conciencia de que las escombreras no van a desaparecer y de que, una vez limpias, pueden ser reconvertidas para otros usos. Existen numerosos proyectos para integrar de manera productiva la ciudad con su pasado minero, como convertir las montañas de residuos en un parque solar. En algunos sectores, se ha plantado vegetación en los vertederos para el polvo, vallando y señalizando correctamente, para evitar que la gente se acerque, y poniendo revestimiento bajo los vertederos de residuos, para evitar las filtraciones (Olalde, 2015).

En la gestión de estos procesos cobra importancia el Consejo para la Geociencia, sucesor del Servicio Geológico de ese país. Debe promover la investigación y proveer de servicios geocientíficos especializados, por ejemplo, información geológica tanto para evaluar las condiciones de un sitio para el asentamiento humano o la protección de los recursos hídricos, como para estimular la inversión a largo plazo. También ha desarrollado un modelo de microzonificación para Joburg, que incluye el estudio de las minas abandonadas e inundadas, con el objetivo de mitigar posibles daños por terremotos. La Ley de Enmienda de Geociencia (2010) faculta al Consejo de Geociencia a ser el custodio de los datos geotécnicos para asesorar y ayudar al gobierno, instituciones estatales, organizaciones privadas y al público en general. Esta ley busca garantizar un desarrollo seguro en terrenos peligrosos mediante la adopción de medidas necesarias y apropiadas antes de cualquier desarrollo de vivienda y/o infraestructura (*Council for Geoscience, 2021*).

En 2000, Sudáfrica ratificó el Convenio 176 de la Organización Internacional del Trabajo sobre seguridad y salud en las minas. En una reunión previa de países subsaharianos, se analizó la necesidad de fortalecer normativas, implementar y hacer cumplir las leyes; se instó a los sindicatos a incluir a la salud y seguridad en los convenios de negociación colectiva y se animó a los trabajadores a ejercer su derecho de negarse a realizar tareas peligrosas cuando se los obliga a trabajar en condiciones inseguras (IndustriALL Global Union, 2019).

## A modo de cierre

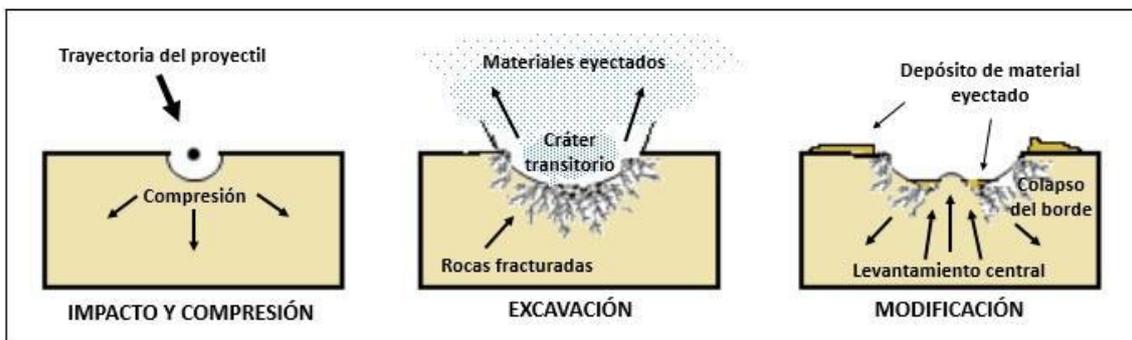
El oro se termina pero los conflictos aumentan. El país se enfrenta a una crisis social y ambiental derivada de una industria del oro en decadencia y de una gestión insuficiente. La falta de trabajo por el cierre de empresas genera dramáticos conflictos sociales. Algunos mineros siguen entrando en las antiguas minas en busca de pepitas o buscan restos de oro en las escombreras, como los *zamazamas*, mientras que otros son capturados por mafias. Los conflictos ambientales se asocian especialmente a los miles de minas abandonadas que provocan contaminación y toxicidad y se han convertido en un problema para el gobierno debido a la desaparición de sus propietarios.

## ¿Sabías que el impacto de un asteroide desenterró el oro?

La singularidad de la cuenca de Witwatersrand se debe al choque de un asteroide<sup>68</sup>, que hace 2023 Ma formó el “astroblema” o **cráter de impacto** más antiguo, más grande y más erosionado de todos los descubiertos en la Tierra<sup>69</sup>. Turtle y Pierazzo (1998, p. 383) han estimado que el proyectil rocoso tendría un diámetro de ~10 km -mayor a la altura del Everest-, mientras que las dimensiones del cráter original son más inciertas (desde 160 km hasta 400 km), debido a su intensa erosión. Al impactar sobre la superficie, distorsionó la horizontalidad de los estratos dentro de ese círculo. En el centro, es visible una gran estructura circular conocida como cúpula Vredefort. En las inmediaciones del impacto, todos los estratos subterráneos se elevaron y volcaron, de modo que las rocas de Witwatersrand quedan expuestas en un arco a 25 km del centro de impacto. En la figura 2 se pueden ver los seis *goldfields* o **yacimientos auríferos** principales y la localización de Johannesburgo, justo dentro del borde exterior de este cráter de impacto - 120 km al noreste de Vredefort-. De no ser por el impacto, es posible que nunca se hubiera descubierto esta gran **concentración aurífera**.

Se trata de un cráter complejo originado a partir de la enorme cantidad de energía que libera en la colisión (figura 5). Acevedo *et al.* (2010, p. 26) explican que esta altísima presión se propaga radialmente a partir del punto de impacto a una velocidad de varios km/s, comprimiendo la superficie de contacto. Son arrojadas al cielo grandes cantidades de roca superficial (fragmentadas, deformadas, fundidas y hasta vaporizadas), expandiendo el cráter -excavación-. El mismo asteroide puede desaparecer pues toda su masa se transforma en vapor. Las rocas comprimidas se fracturan. Al descomprimirse, se producen cambios en el cráter. El proceso es particularmente mayor en el centro (domo central), donde luego la roca “rebota” hacia arriba. A continuación, el material eyectado cubre parcialmente el cráter. Todo esto sucede en minutos,

**Figura 5. Etapas de la formación de un cráter complejo**



Fuente: modificado de Acevedo *et al.* (2010, p. 26) por María Cristina Zilio.

<sup>68</sup> “Escombros cósmicos que sobran de la construcción planetaria”, los asteroides son fragmentos rocosos o metálicos, que giran alrededor del Sol. Pueden medir varios kilómetros de diámetro (Acevedo *et al.*, 2010, p. 24).

<sup>69</sup> Patrimonio de la Humanidad por su carácter excepcional: ofrece un perfil geológico completo de un astroblema por debajo de su fondo. Mide 190 km de radio (World Heritage Convention, 2005)

## Preguntas para reflexionar

- ¿Por qué los yacimientos de oro de Joburg se explotan de forma subterránea y no superficial?
- ¿Tendrá Johannesburgo la capacidad de reconvertirse una vez agotados los recursos? o, ¿se transformará en una “ciudad fantasma”?

## Referencias

- Amphlett, G. (1914). History of the Standard Bank of South Africa Ltd. 1862-1913. Glasgow: *University Press*. Recuperado de [http://www.public-library.uk/dailyebook/History%20of%20the%20Standard%20Bank%20of%20South%20Africa%201862-1913%20\(1914\).pdf](http://www.public-library.uk/dailyebook/History%20of%20the%20Standard%20Bank%20of%20South%20Africa%201862-1913%20(1914).pdf)
- Acevedo, R., Ponce, I., Rabassa, J., Corbella, H. y Rocca, M. (enero, 2010). Bajada del diablo Un excepcional campo de cráteres producidos por meteoritos en el centro del Chubut. *Ciencia Hoy*, pp. 23-33. Recuperado de [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/68985/CONICET\\_Digital\\_Nro.b3dd35ad-9eb5-4fbd-bd0c-510c76973e2b\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/68985/CONICET_Digital_Nro.b3dd35ad-9eb5-4fbd-bd0c-510c76973e2b_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- AiSur. Agencia Internacional del Sur (2 de septiembre de 2016). Detienen operaciones de rescate en mina sudafricana por peligrosidad. *Centro de saberes africanos, americanos y caribeños*. Recuperado de <https://www.saberesafrianos.net/noticias/politica/724-detienen-operaciones-de-rescate-en-mina-sudafricana-por-peligrosidad.html>
- Banco Mundial (2020). Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/>
- Bénit, C. (2002). Johannesburgo: ¿desegregación racial, segregación social? La banalización de las moviidades residenciales en la ciudad de *apartheid*. En F. Dureau, Françoise; V. Dupont; E. Lelièvre; J. Lévy, y T. Lulle. *Metrópolis en movimiento. Una comparación internacional* (pp. 180-189). Bogotá: Alfaomega Colombiana S.A.
- Council for Geoscience (2021). Sitio oficial. Recuperado de <https://www.geoscience.org.za/>
- Clark, C. (14 de abril de 2019). Violencia y abusos sexuales en las minas de oro abandonadas de Sudáfrica. *elDiario.es*. Recuperado de [https://www.eldiario.es/internacional/theguardian/violencia-abusos-sexuales-abandonadas-sudafrica\\_1\\_1602663.html](https://www.eldiario.es/internacional/theguardian/violencia-abusos-sexuales-abandonadas-sudafrica_1_1602663.html)
- Fernández, A. (6 de mayo de 2019). 25 años del fin del ‘apartheid’. *La Vanguardia*. <https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20190503/462008228482/nelson-mandela-elecciones-1994-fin-apartheid.html>
- Gascón, M. (5 de septiembre de 2018). Cuando la fiebre del oro funda tu ciudad y después te mata lentamente. *El Confidencial*. Recuperado de [https://www.elconfidencial.com/mundo/2018-09-05/sudafrica-minas-oro-uranio-davidsonville\\_1609888/](https://www.elconfidencial.com/mundo/2018-09-05/sudafrica-minas-oro-uranio-davidsonville_1609888/)
- Herskovitz, J. (26 de febrero de 2011). Sudáfrica encara riesgo filtración agua ácida por minas. *Reuters*. Recuperado de <https://www.reuters.com/article/internacional-sudafrica-agua-mineria-idLTASIE71P05V20110226>

- Iagua (23 de diciembre de 2013). Agua, cianuro y minería del oro: 30 años de accidentes. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/plataforma-salvemos-cabana/agua-cianuro-y-mineria-del-oro-30-anos-de-accidentes>
- IndustriALL Global Union (9 de septiembre de 2019). Se insta a países africanos a ratificar el C176 de la OIT sobre seguridad en las minas. Recuperado de <https://www.industriall-union.org/es/se-insta-a-paises-africanos-a-ratificar-el-c176-de-la-oit-sobre-seguridad-en-las-minas>
- Mantilla Figueroa, L., Casquet, M. y Mas, J. (1999). Comparación entre el metamorfismo de la Cuenca de Cameros y el de la Cuenca de Witwatersrand (Sudáfrica). Implicaciones metalogénicas. *Geogaceta*, 25, pp. 131-134. Recuperado de <https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/Geo25/Art33.pdf>
- Mueller, M. (17 de septiembre de 2012). Las diez minas de oro más grandes del mundo. *Oro y Finanzas*. Recuperado de <https://www.oroymas.com/2012/09/diez-minas-oro-grandes-mundo/>
- Mwareya, R. (2 de diciembre de 2014). Los esclavos del oro de Sudáfrica. *Equal Times*. Recuperado de [https://www.equaltimes.org/los-esclavos-del-oro-de-sudafrica?lang=es#.YsX\\_eHbMLIW](https://www.equaltimes.org/los-esclavos-del-oro-de-sudafrica?lang=es#.YsX_eHbMLIW)
- Naicker K., Cukrowska E. y McCarthy T. S. (marzo, 2003). Acid mine drainage arising from gold mining activity in Johannesburg, South Africa and environs. *Environmental Pollution*, 122, 29-40.
- Natenzon, C. (2015). Presentación. En C. Natenzon y D. Ríos. *Riesgos, catástrofes y vulnerabilidades* (IX-XXV). San Martín: Imago Mundi.
- New World Wealth (15 de abril de 2020). SA Wealth Report 2020. The wealthiest cities and towns in South Africa. Recuperado de [https://issuu.com/newworldwealth/docs/south\\_africa\\_2020](https://issuu.com/newworldwealth/docs/south_africa_2020)
- Nwaila, G., Becker, M., Ghorbani, Y., Petersen, J., Reid, D., Bam, L., de Beer, F. y Franzidis, J. (2 de octubre de 2013). A Geometallurgical Study of the Witwatersrand Gold Ore at Carletonville, South Africa. En The Second Ausimm International Geometallurgy Conference. Brisbane, pp. 75-83. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/278016238\\_A\\_Geometallurgical\\_Study\\_of\\_the\\_Witwatersrand\\_Gold\\_Ore\\_at\\_Carletonville\\_South\\_Africa](https://www.researchgate.net/publication/278016238_A_Geometallurgical_Study_of_the_Witwatersrand_Gold_Ore_at_Carletonville_South_Africa)
- Olalde, M. (12 de noviembre de 2015). The Haunting Legacy of South Africa's Gold Mines. *Yale School of the Environment*. Recuperado de [https://e360.yale.edu/features/the\\_haunting\\_legacy\\_of\\_south\\_africas\\_gold\\_mines](https://e360.yale.edu/features/the_haunting_legacy_of_south_africas_gold_mines)
- Pedraza, J. (10 de mayo de 2019 –a-). La tercera mayor minera de oro mundial abandonará sus explotaciones en Sudáfrica. *Oro Información*. Recuperado de <https://oroinformacion.com/la-tercera-mayor-minera-de-oro-mundial-abandonara-sus-explotaciones-en-sudafrica/>
- Pedraza, J. (5 de julio de 2019 –b-). ¿Por qué la industria minera de Sudáfrica produce cada vez menos oro y platino? *Oro Información*. Recuperado de <https://oroinformacion.com/por-que-la-industria-minera-de-sudafrica-produce-cada-vez-menos-oro-y-platino/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. PNUD (2020). *Informe sobre Desarrollo Humano 2020. La próxima frontera. El desarrollo humano y el Antropoceno*. Recuperado de <https://report.hdr.undp.org/es/intro.html>
- Revista Vector (agosto, 2019) ¿Cuánto mide la mina más profunda del mundo? Recuperado de <http://www.revistavector.com.mx/2019/08/09/tau-tona-la-mina-mas-profunda-del-mundo/>

- Riva, A. (7 de diciembre de 2013). Sudáfrica hoy: mejor que ayer, pero lejos de la "nación arco iris" que soñó Mandela. *La Nación*. Recuperado de <https://www.lanacion.com.ar/el-mundo/sudafrica-hoy-mejor-que-ayer-pero-lejos-de-la-nacion-arco-iris-que-sono-mandela-nid1645456/>
- Rodríguez, M. (18 de septiembre de 2013), La "milla de oro" de África. *El País*. Recuperado de [https://elpais.com/elpais/2013/09/18/africa\\_no\\_es\\_un\\_pais/1379483400\\_137948.html](https://elpais.com/elpais/2013/09/18/africa_no_es_un_pais/1379483400_137948.html)
- Romero, G. y Maskrey, A. (1993). Como entender los desastres naturales. En A. Maskrey (Comp.). *Los desastres no son naturales* (pp. 6-10). Bogotá: La Red - Tercer Mundo Editores. Recuperado de <https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>
- Ross, R. (2006). *Historia de Sudáfrica*. Madrid: Ediciones Akal.
- Schmieder, O. (1955). Geografía del Viejo Mundo, México, Fondo de Cultura Económica,
- Stats SA (2016). Statistics South Africa. Recuperado de [http://cs2016.statssa.gov.za/?page\\_id=270](http://cs2016.statssa.gov.za/?page_id=270)
- Tapia, D. (25 de abril de 2017). Minería en Sudáfrica: cara a cara con sus fantasmas. *Revista Nueva Minería y Energía*. Chile. Recuperado de <http://www.nuevamineria.com/revista/mineria-en-sudafrica-cara-a-cara-con-sus-fantasmas/>
- Turtle, E. y Pierazzo, E. (mayo, 1998). Constrains on the size of Vredefort impact crater from numerical modelling. *Meteoritics & Planetary Science. Meteoritical Society*. USA, 33(3), pp. 383-538. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1945-5100.1998.tb01652.x>
- United Nations. *The World's Cities in 2018*. Recuperado de [https://www.un.org/en/events/cities-day/assets/pdf/the\\_worlds\\_cities\\_in\\_2018\\_data\\_booklet.pdf](https://www.un.org/en/events/cities-day/assets/pdf/the_worlds_cities_in_2018_data_booklet.pdf)
- Willches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global. En A. Maskrey (Comp.), *Los desastres no son naturales* (11-44). Bogotá: La Red - Tercer Mundo Editores. Recuperado de <https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>
- World Heritage Convention* (2005). Bóveda de Vredefort. UNESCO. Recuperado de <https://whc.unesco.org/es/list/1162>
- Zhang, Sarah (19 de diciembre, 2013). [Así de aterradora es la mina de oro más profunda del mundo](https://es.gizmodo.com/asi-de-ateradora-es-la-mina-de-oro-mas-profunda-del-mu-1486327645). Recuperado de <https://es.gizmodo.com/asi-de-ateradora-es-la-mina-de-oro-mas-profunda-del-mu-1486327645>